

钱学森科学技术思想研究丛书

马克思主义哲学与现代科学技术体系

黄顺基　著



科学出版社

谨以此丛书纪念
钱学森诞辰一百周年

曹刚川 二〇〇八 十一月



钱学森科学技术思想研究丛书

马克思主义哲学与现代科学技术体系

黄顺基 著

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书是“钱学森科学技术思想研究丛书”之一，主要内容包括：钱学森创建现代科学技术体系的历史背景、基本思想及其对中国现代化建设的重要意义；钱学森现代科学技术体系是科学技术发展新时期——从分化向综合化、整体化转向时期——的认识论与方法论；钱学森现代科学技术体系的重大创新：对科学方法的创新，提出系统观与系统科学，它是交叉学科的认识论与方法论；对工程实践的创新，提出系统工程方法，它是组织管理大型工程的科学方法；钱学森现代科学技术体系根据时代的要求，根据现代科学技术发展的新进展，围绕提高人的潜力，特别是人的智能，提出新的科学研究领域——系统科学、思维科学、人体科学与大成智慧学，它融合古今中外思想文化的优秀成果。

本书适合党政领导干部、国家公务员及社会人士、高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

马克思主义哲学与现代科学技术体系/黄顺基著．—北京：科学出版社，2011

（钱学森科学技术思想研究丛书）

ISBN 978-7-03-029776-1

Ⅰ．马…　Ⅱ．黄…　Ⅲ．钱学森-科学体系学-思想评论　Ⅳ．①G304 ②K826.16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 247053 号

责任编辑：余　丁　魏英杰　王贻社 / 责任校对：刘小梅

责任印制：赵　博 / 封面设计：陈　敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

http://www.sciencep.com

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行　各地新华书店经销

*

2011年1月第 一 版　　开本：B5(720×1000)

2011年1月第一次印刷　　印张：17

印数：1—2 500　　字数：312 000

定价：60.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

《钱学森科学技术思想研究丛书》序

在现代科学技术革命、政治多极化、经济全球化与文化多元化的新形势下，人类面对越来越复杂的世界，我国社会主义现代化建设同样也面对各种各样的复杂性问题。突破还原论，发展整体论，在还原与整体辩证统一的系统论基础上构建现代科学技术体系，探索开放的复杂巨系统理论与方法，并付诸实践，已经成为现代科学技术发展进程中的重大时代课题。

早在19世纪末，恩格斯就曾经预言①，随着自然科学系统地研究自然界本身所发生的变化的时候，自然科学将成为关于过程，关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大的整体的联系的科学。1991年10月，钱学森根据现代科学技术发展的新形势，进一步明确指出②："我认为今天的科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而是人认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系，这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系，而且运用这个科学体系去解决我们中国社会主义建设中的问题。……我在今后的余生中就想促进这件事情。"

在东西方文化互补、融合的基础上，钱学森提出的探索宇宙五观世界观（胀观、宇观、宏观、微观、渺观）、社会主义社会三个文明（物质、政治、精神）与地理建设（生态文明）的体系结构、现代科学技术体系五个层次、十一个大部门的总体思想、开放的复杂巨系统理论、从定性到定量综合集成研讨厅与大成智慧学等，构成了钱学森科学技术思想的核心内涵。可以说，钱学森科学技术思想的核心是对现时代科学技术发展趋势的总体把握，是依据现时代科学技术综合化、整体化的发展方向，对恩格斯关于自然科学正在发展为"一个伟大的整体联系的科学"这一预见的科学论证与深刻阐发，它必将大大推动科学技术的发展，必将成为中国社会主义现代化建设的强大思想武器。因此，深入学习、研究、解读、继承，并大力传播与发展钱学森的科学技术思想，是我们这一代科技工作者不可推卸的历史责任。

钱学森在美国的二十年，潜心研究应用力学、工程控制论和物理力学，参与开拓美国现代火箭技术，成就为世界著名的技术科学家和火箭技术专家；回国后的前二十五年，专心致志地领导、开拓我国导弹、航天事业，成为世界级的航天发展战略家、系统工程理论与实践的开拓者和国家功臣；晚年的钱学森，为了实现让自己的

---

① 马克思恩格斯选集(4卷). 2版. 北京：人民出版社，1995：245.

② 钱学森. 感谢、怀念与心愿. 人民日报，1991-10-17.

人民能够过上更加“幸福和有尊严的生活”，在马克思主义哲学的指导下，在科学技术的广阔领域里不懈地探索着，从工程技术走向了科学论，成为具有大识、大德和大功的大成智慧者，具有深厚马克思主义哲学功底的科学大师和思想家。钱学森提出的科学技术思想具有非同寻常的前瞻性和战略意识，对于我国科学技术的发展与社会主义现代化建设是一座无价的思想宝库。我们这些来自不同学术领域的后来者，研究、解读他的创新科学技术思想，是有难度的，在知识域上也是有局限性的。现在呈现在读者面前的《钱学森科学技术思想研究丛书》只是我们学习、研究钱学森科学技术思想的初步成果。我们把本丛书奉献给读者，目的是希望尽我们的微薄之力，进一步推动钱学森科学技术思想的研究工作，诚恳地欢迎社会各界提出不同的意见，并进行广泛的学术交流。

在《钱学森科学技术思想研究丛书》陆续与读者见面的时候，我们衷心地感谢国内相关领域的学者、专家积极主动地参与研讨，尽心尽力地出谋划策，无私地贡献自己的知识和智慧；特别要感谢谢光选、郑哲敏院士和新闻出版总署、科学出版社的领导和同志们，正是他们的大力支持和鼓励，才使本丛书得以在钱学森百年诞辰之际问世。

《钱学森科学技术思想研究丛书》编委会

2010年12月11日

前　言

20 世纪科学技术对人类历史进程的影响是以往一切时代所无法比拟的，现代科学技术活动与社会发展的关系已经成为我们时代的重大课题。钱学森坚持与发展马克思主义的自然观、科学观与技术观，站在战略科学家的高度提出：要把科学技术研究作为人类社会活动的一个极其重要的方面来考察，研究和总结其运动变化的规律，首先就必须建立现代科学技术体系，研究“科学技术的分门别类，各门学科之间的相互联系，学科体系的发展，演变，新学科的成长和老学科的消亡或重新划分。”①

当前，实现四个现代化是中国人民肩负的伟大历史使命，这一任务的实现关键在于科学技术现代化。为此，钱学森认为，必须研究现代科学技术体系，研究它的发展趋势；只有从总体上对它进行全面的、系统的认识，才能提高我们组织管理科学技术研究工作的能力，提高我们的科学技术水平，从而进入创新型国家的行列。

科学技术体系的研究，随着人类认识世界与改造世界的知识不断增加，随着社会历史的进步，不同的时期、不同的人物是不同的。钱学森是中国现代史上一位杰出的科学家、思想家，他对现代科学技术和我国社会主义现代化建设作出了举世公认的贡献，建树了众多的科学丰碑，其中之一无疑是他创建的现代科学技术体系，这个体系是他在马克思主义哲学指导下，在概括总结现代科学技术发展的新特点与新成就、概括总结他毕生从事科学技术事业的理论与实践的基础上，独立地、创造性地提出的。钱学森创建的现代科学技术体系，思想开放，视野广阔，内容博大精深，它必将对我国科学技术的发展，对社会主义现代化建设带来巨大的影响。

现概括论述本书各篇的思路与要点如下。

第一篇　钱体系的历史背景、基本思想及其重要意义。

第一章　历史上从事科学分类、创建科学体系的人物大都是哲学家、思想家，他们十分关心科学发展与社会发展的关系。在两千多年科学的产生、形成与发展过程中，经过了古代亚里士多德的知识分类，近代圣西门、黑格尔，特别是恩格斯的科学分类，对这一问题的认识不断深入。进入 20 世纪，钱学森以马克思主义哲学为指导，继承与发展恩格斯的分类思想，在中西方文化互补、融合的基础上，概括总结现代科学技术发展的新进展，创建了一个结构完整、层次分明的现代科学技术体系，为我们提供了一幅科学技术发展的总蓝图，为贯彻落实“科教兴国”战略思想提

① 钱学森，等. 论系统工程(新世纪版). 上海：上海交通大学出版社，2007：102.

供了重要的理论依据。

第二章　钱体系的基本思想主要是:第一,马克思主义哲学是科学技术的最高概括与总结,应该放在体系的顶层。第二,对机械唯物主义与逻辑实证主义作出批判分析。第三,继承与弘扬中国文化的优秀传统。第四,牢牢抓住现代科学技术发展综合化、整体化的方向。

据此,钱体系的划分依据是:在纵向上按照实践论的观点;在横向上按照矛盾论的观点;在总体上,运用系统论的观点。

第三章　钱体系提出的重要观点是:第一,社会形态发展的规律是"科学革命在先,然后导致技术革命,最后出现产业革命"[①],产业革命引起社会形态的飞跃。第二,社会主义根本任务是发展生产力,建立科学技术业是发展生产力的根本途径。第三,第五次产业革命将有可能最终导致消灭体力与脑力劳动的差别;第六次产业革命将可能最终导致消灭工业和农业、城市和农村的差别;第七次产业革命将大大提高人的能力,这将是第二次文艺复兴。第四,社会系统工程是历史唯物主义的发展。

第二篇　钱体系创建科学整体化发展的科学方法。

第四章　从15世纪下半叶开始的近代自然科学,在哲学上主要受培根的经验论和笛卡尔的唯理论的影响;在科学上则是受分门别类研究方法的影响,当时自然科学刚刚从哲学中独立出来,它以观察与实验为基础,分门别类地对事物或过程进行分析的研究,这是自然科学获得巨大进步的基本条件。但是这种研究方法,被培根和洛克从自然科学中移到哲学中以后,经过牛顿力学体系的建立和影响,形成了近代自然科学中占统治地位的机械论观点与还原论方法。

第五章　19世纪,恩格斯从辩证唯物主义的观点出发,总结了当时自然科学的最新成就,特别是细胞、能的转化和达尔文的生物进化论三大发现,深刻地指出:近代自然科学研究的进展表明,它不仅能够指出自然界中各个领域内的过程之间的联系,而且总的说来也能指出各个领域之间的联系,这样,自然科学的发展就开始转变为关于事物的过程,关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学[②]。就是说,自然科学面临一个伟大的转向——从分化向综合化、整体化转向。

20世纪,先是20年代贝塔朗菲的"一般系统论"提出:生命现象的整体性、目的性、组织性、等级结构、动态相互作用等重要特征,在机械论观点与还原论方法的科学框架内是无法做出解释的。强调应该把有机体作为一个整体或系统来考虑,由此形成了系统研究的第一个理论框架。40年代,系统工程与系统技术的兴起,

---

① 中央组织部等五部委.九十年代科技发展与中国现代化.长沙:湖南科学技术出版社,1991:9.

② 马克思恩格斯选集(4卷).北京:人民出版社,1971:241.

从工程技术与技术科学层次上把系统研究推向一个新的发展阶段。60～90年代系统科学基础理论(耗散结构论等)创建。20世纪系统科学的产生与发展表明:现代科学技术正在朝整体化方向发展。

第六章 钱学森站在马克思主义哲学的高度,分析了科学技术整体化发展的历史进程,概括总结了他在尖端科学技术领域作出的巨大成就,敏锐地洞察到:以"系统"为范式的新的科学技术革命,将为科学技术的综合化与整体化研究提供新的方法。他继承与发展了恩格斯提出的重要的思想:自然科学是一个相互联系的、整体的科学,独立自主地创建系统工程方法与开放的复杂巨系统方法,这是现代科学技术整体化发展的科学方法。

第七章 钱学森胸怀祖国,放眼世界,他将开放的复杂巨系统理论与方法应用于中国发展面临的重大问题。特别是现代科学技术革命提出的两大问题:一是第五次产业革命对中国发展的影响,以及相应的对策;二是从工业社会向知识社会演进提出的创建创新型国家的战略任务,以及如何对实现这一任务的基础工程——知识创新工程,进行组织管理的方法。

第三篇 钱体系对哲学、科学、技术与现代化建设的理论与实践的创新。

第八章 钱体系是大科学、大技术、大工程时代、科学技术整体化发展的科学方法,它超过了现代西方科学哲学:后者只研究科学认识过程的飞跃,即"实验-理论"的飞跃;前者研究"科学-技术-工程一体化"过程的飞跃,它不仅包括"实验-理论"(认识世界)的飞跃,特别重要的是还包括"理论-实践"(改造世界)的飞跃。

钱学森创建的现代科学技术认识论与方法论,为我国制订科学技术发展的方针与政策提供理论依据与方法步骤。

第九章 钱体系从纵向上把"科学-技术-工程"过程划分为三个层次,厘清了科技创新的三个涵义,即:

基础科学创新是新思想、新观念、新事实的发现,由此带来技术科学的新原理、新方法。所以,基础科学创新是创新的源头;

技术科学创新是根据基础科学研究成果,开发出工程中的新技术、新工艺或新方法,是科研成果转化为现实生产力的中间环节,它是衡量国家科研能力与科技水平的标志;

工程技术创新包括工程规划创新、工程设计创新、工程建造创新与工程管理创新,它是各种技术的综合集成创新。

这三个层次的创新之间的相互区别与相互联系,它们阐明了"科学-技术-工程-产业"一体化的动力、机制、条件,这将大大加速"科学-技术-工程-产业"一体化的进程。

第十章 从钱体系看来,现代社会发展面临的问题是十分复杂的,不同的科学部门只研究问题的不同方面,它们围绕所要解决的问题构成一个系统,形成交叉科

学。交叉科学体现了一个国家的智能化水平、科技水平和综合国力。在现代，交叉科学已发展为一个庞大的科学技术部门。钱学森创建的系统工程方法，是交叉科学研究方法。他将这一方法应用于农学这门交叉科学中，得出了建设大农业的许多精辟的见解。

第十一章　从钱体系看来，地理环境建设是一项复杂的系统工程，是破解环境与发展的矛盾、转变发展方式的根本途径。建设地理环境必须在统筹人与自然的发展的思想指导下，从国际国内的形势出发，应用系统工程的理论与方法，利用物质科学、能量科学、信息科学与生物科学的新成就，建设它的物质技术基础——生态农业，它是国民经济产业结构（生态农业-生态工业-生态信息业-生态服务业）的核心，并以它为基础，对其他产业（工业、信息业、服务业等）的运营思想与工作方式进行改造。

第四篇　钱体系以智能为核心开拓新的科学领域。

第十二章　系统科学。系统工程是一大类工程技术的总称，它横跨自然科学、数学、社会科学、技术科学和工程技术，是现代科学技术的综合集成。钱学森认为，为了适应现代科学技术整体化发展的需要，必须对系统工程进一步概括，把它提高到基础科学与哲学的层次，使它成为科学技术发展整体化时期的认识论与方法论。为此，他在唯物辩证法思想指导下，吸取了国外系统科学研究的成果，在创建现代科学技术体系的基础上，独立地提出系统科学的研究方向。

第十三章　思维科学。用计算机模拟人类逻辑思维功能是人工智能的一个重要的研究方向。计算机是智力劳动的工具，它的发明带来了生产力的革命，更直接地关乎人的智能。人的智能的核心是思维能力，主要表现为“发现问题、获取知识和运用知识解决问题的能力”。计算机的智能与人的智能相比，还有很大的差距：前者是在数理逻辑的基础上发展起来的。而人的思维，不仅有逻辑思维，还有形象思维，特别重要的是还有创造性思维。此外，人的思维实际上是信息的传输、加工与处理。据此，钱学森提出创建思维科学，它的基础科学包括思维学与信息学，以推动人工智能的发展。

第十四章　人体科学。人体科学与生物科学的根本区别在于：人体科学研究涉及物质与精神、客观与主观、大脑与意识之间的关系，涉及哲学的基本问题。现代科学技术发展受西方科学文化思潮的两大影响：一是重物质，轻精神；二是囿于机械唯物主义观点与还原论方法的局限，因而出现了精神与物质分离的现代科学技术危机和现代人类危机。

钱学森洞察问题之所在，独具卓识地提出：人的能力是非常大的，开发人的能力，这是关系国家民族命运的大问题。21 世纪是智力战，“我们要在世界上立国，

站得住，一定要在智力开发上领先。”[①]教育制度、教育方法的改革，说到底是要把人的能力大大地提高一步。人体科学研究使我们认识客观世界和改造客观世界来一次更大的总的飞跃，这必将是一场新的科学革命。

第十五章　大成智慧学。教育是培养人的事业，它事关中国发展的命运与前途。社会历史的发展，科学技术的发展，深刻地影响每一时代的教育思想、教育内容与教学方法。工业时代，教育的重点是把自然科学研究成果应用于社会经济的发展，产生了以学校教育为主的教育发展模式。信息时代，教育处在两个转型过程之中：一是科学的转型，科学从分门别类的研究转向综合的、整体的研究；二是社会的转型，在从工业社会向知识社会转型，由信息革命创造出来的、以计算机与互联网为标志的、各种先进的信息传播手段，促使人们的学习模式面临一场革命性的变革。面临重大历史转折的时刻，如何完成教育重心的转移？这是事关提高民族素质，多出人才、出好人才的重大问题，是社会主义现代化建设必须解决的头等大事。钱学森从当代世界教育发展的战略方向出发，研究与探索“大成智慧学”，它不但是一门学问，而且是一场伟大的革命。大成智慧学是集现代科学技术知识之大成、集中西文化之大成，是科学整体化发展的创造学。

一代大师钱学森对我国科学技术的发展，对社会主义现代化建设，做出了卓越的贡献，我们要学习他崇奉爱国奉献、追求卓越的精神，学习他严守严谨、勤奋、求实、创新的学风，继承他留给我们的丰富、宝贵的精神财富，研究他的学术思想和哲学观点，把社会主义现代化建设事业推向前进。

参考文献

马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1971.

钱学森，等. 论系统工程(新世纪版). 上海：上海交通大学出版社，2007.

钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996.

中央组织部等五部委. 九十年代科技发展与中国现代化. 长沙：湖南科学技术出版社，1991.

① 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：428.

目　录

第三篇 钱体系的理论创新与实践创新

第四篇 钱体系开拓的科学新领域

第一篇　现代科学技术体系的探索历程和重要意义

第一章 历史上的科学分类及现代科学技术的新特点

20世纪30年代产生的科学学，是自然科学和社会科学综合产生的新兴交叉学科，第二次世界大战中科学技术对战争进程的改变，极大地促进了科学学的发展。1979年，钱学森在《哲学研究》上发表题为《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》的文章，呼吁开展科学学的研究，标志着科学学在我国进入了一个新的发展阶段。钱学森站在战略科学家的高度，肯定了我国学者提出的观点："科学学就是把科学技术的研究作为人类社会活动的一个方面来考察，研究和总结其运动变化的规律"①。

钱学森坚持与发展马克思主义的科学观，进一步提出科学学要深入地研究现代科学技术活动与整个社会的关系②，并独具卓见地认为，科学学的一个重要内容是科学技术体系学，它研究的问题是："科学技术的分门别类，各门学科之间的相互联系，学科体系的发展，演变，新学科的成长和老学科的消亡或重新划分。"③这表明，科学技术体系学的极端重要性，因为：首先科学技术体系学把科学技术的各个学科组合成一个整体的、相互联系与相互促进的体系，100年前恩格斯的科学分类就指出了这个方向；其次，实现四个现代化，科学技术现代化是关键，为此就必须对现代科学技术的总体结构及其发展趋势有清晰的认识，才能提高我们组织管理科学技术研究工作的能力，从而提高我们的科学技术水平。

在科学技术体系学中，科学分类是前提，随着人类认识世界与改造世界的知识不断增加，不同的历史时期有不同的分类，从历史上看，科学知识的分类大体上可以划分为三个时期。

1.1 古代知识分类

在古代，科学还没有从哲学中分化出来，古希腊哲学家就是围绕自然万物何以生成、何以存在的问题进行自然哲学的思考的。科学的本意是"知识"、"学问"，科学分类就是知识分类。第一次进行知识分类尝试的是希腊哲学家亚里士多德，当时最博学多才的人物，他广泛论及哲学、伦理学、美学、政治、经济、历史、数学以及

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982：209.

② 钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982：189.

③ 钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982：192.

自然科学的内容。

首先,他从知识包含的目的出发,总结了人们的社会实践活动,并根据当时社会上存在的分工,以观察、行动和创造能力之间的区别为基础,从纵向上把知识划分为理论的、实践的、创制的三大类:

理论知识是纯粹认识活动,是为着自身而被追求的知识,包括第一哲学(形而上学)、数学与物理学;

实践知识是关于人类行动的学问,是为着行动而被追求的知识,包括政治学、伦理学等;

创制知识是关于创造的学问,是为了创作和制造而被追求的知识,包括艺术、讲演等。

其次,他从知识本身出发认为,人类知识领域包括客观的、情感的与理智的三大部分;客观的知识是历史;情感的知识是文学;理智的知识是哲学。因而在横向上将人类的知识划分成三类,即:历史,文学和哲学。

再次,他根据知识的对象,对理论知识和实践知识进行分类。他把理论知识划分为第一哲学(形而上学)、数学和物理学三大门类;第一哲学的研究对象不能同运动与质料分离,数学的研究对象不能运动也不能分离存在,物理学的研究对象能运动但不能分离存在。他把实践知识分为伦理学和政治学。

亚里士多德的分类为进一步把各门科学从统一的知识中划分出来作了理论上的准备。

1.2　近代科学分类

近代自然科学是从文艺复兴时期兴起的,随着生产力的发展,开始了对自然现象进行实验的、分析的研究,自然科学分门别类,学科逐渐分化,近代自然科学前期科学发展的趋势以分化为主,各门自然科学相继从哲学中独立出来,于是产生了真正意义的科学分类。近代自然科学可以划分为两个时期。

1.2.1　近代前期(16~18世纪)——以科学的分门别类研究为主

16世纪初,“随着中等阶级的兴起,天文学、机械学、物理学、解剖学和生理学的研究又重新进行起来。资产阶级为了发展它的工业生产,需要有探索自然物体的物理特性和自然力的活动方式的科学。”[①]正是适应时代的需要,科学从此在哲学的怀抱中诞生出来。

文艺复兴时期达·芬奇(1452~1519年)在研究工作中就已经运用实验方法,

① 恩格斯.反杜林论.北京:人民出版社,1976:333.

他主张真正的科学应从实验中产生并以实验为结束。

培根(1561～1626年)进一步把归纳方法和实验方法结合,从此以实验为基础的自然科学便从哲学中分化出来,因此马克思誉培根为“整个现代实验科学的真正始祖”①。培根的目的是要实现科学的伟大复兴,推进科学的发展。他的科学分类一方面是从人的理性能力着手,认为科学是人类的理性活动,它的任务是要在人的理性中创造出一个符合于世界本来面貌的模型。所以,他把人类理性能力的区别作为科学分类的依据,并把这种能力划分为记忆力、想象力和悟性,相应地把科学划分为记忆的科学——历史、想象的科学——诗歌、悟性的科学——哲学。

另一方面培根又认为,科学的源头不仅是人的理性,而且是事物的性质,因此他又进一步把科学划分为:自然科学——研究自然界的存在和运动;“人的哲学”(人类学、逻辑学、伦理学和政治学)——研究人和人类社会。

近代科学前期主要是分门别类的研究,在积累了大量实证材料的基础上,基础自然科学的分类初步完成,正如恩格斯所指出的:以牛顿(1642～1727年)和林耐(1707～1778年)为标志的这一时期末,最基本的自然科学,如力学、物理学与生物学及数学,已经在某种程度上完成了②。在近代自然科学发展相对成熟的情况下,物理学和生物学的分类基本上完成。

物理学在牛顿的观点与方法指引下,明确地划分出力学、光学、热学、磁学和电学。

生物学在博物学家林耐的分类中,根据植物的用途或形态特征进行分类,首先将自然界分成三个界,即动物界、植物界和矿物界;在界的下面,依次是纲、目、属、种、变种。实现了分类范畴的统一。对植物界他以种为分类的最小单位,再根据花的数量、形状和位置分成属,并以雌蕊的数目决定某一植物应归的目,以雄蕊的数目确立应归入的纲,另总括隐花植物为一纲,构成所谓“林氏24纲”。他把动物界分为六个纲,即哺乳纲、鸟纲、两栖纲、鱼纲、昆虫纲和蠕虫纲。

林耐将世界上的所有生物(甚至包括矿物)统一在自己的分类体系之中,建立了经典分类科学。林耐在生物学中的最主要的成果是建立了人为分类体系和“双名制命名法”。即用两个拉丁字构成生物某一物种的名称:第一个字是属名,第二个字是种加词,两者组成一概学名,后面还附有定名人的姓名。林耐的分类法和命名法,使已知的各种生物可以排成一个有规则的系统,结束了过去生物学在分类命名上的混乱现象,这就为生物进化的研究打下了基础。恩格斯说:“植物学和动物学由于林耐而达到了一种近似的完成。”①

① 马克思恩格斯全集(2卷).北京:人民出版社,1965:163.

② 马克思恩格斯全集(20卷).北京:人民出版社,1971:26,363.

1.2.2 近代后期(18～19世纪)——转向以科学的综合研究为主

近代自然科学经过两百多年分门别类的研究，在19世纪迅速成长出许多新的部门、新的分支，在科学日益分化的基础上，出现了要把旧的牛顿-林耐学派的整个自然科学作百科全书式的概括的要求，试图把近代科学构建成一个体系。有两个最有天才的人物投身于这个工作，这就是圣西门(未完成)和黑格尔[①]。

1. 圣西门(1760～1825年)的科学分类

圣西门是达兰贝尔的学生，当时最博学的人。圣西门用发展的思想去考察自然界和人类社会。在自然界领域中，他根据自然现象由简单到复杂的发展过程，把自然现象分成以下几类：天文现象、物理现象、化学现象和生理现象；与此相适应，自然科学划分为天文学、物理学、化学和生理学。在圣西门的科学分类中体现了一个重要的思想：人类认识的顺序同自然现象发展的顺序是一致的。在人类社会领域中，圣西门同样根据发展的思想，把社会划分为三个阶段：神学阶段、形而上学阶段和实证阶段。与此相适应人类认识进程划分为：神学、形而上学与实证科学。

2. 19世纪孔德(1798～1857年)的科学分类

孔德认为，为了达到实证的综合，首先必须进行科学分类。在《实证哲学教程》中他把科学分为六大类：数学、天文学、物理学、化学、生物学与社会学(社会物理学)。其中天文学、物理学、化学属于无机的自然领域，生物学与社会学属于有机现象领域，而数学则是人心用来探索自然现象的最有力的工具，是最普遍的科学。在以社会为研究对象的社会科学方面，孔德做了大量开拓的工作，他最先提并使用了"社会学"的名称，并试图用当时已经相当成熟的自然科学方法把"社会学"创建为一门研究社会的实证科学。在孔德的科学分类的体系中，从自然科学到社会科学的各门科学之间有先后顺序(从一般到特殊)、有位置高低(从简单到复杂)。

3. 黑格尔(1770～1851年)的科学分类

黑格尔是德国古典哲学家、辩证法大师，他的巨大功绩是第一次"把整个自然的、历史的和精神的世界描写为一个过程，即把它描写为处在不断的运动、变化、转变和发展中，并企图揭示这种运动和发展的内在联系。"[②]不过，黑格尔的所谓发展是绝对观念的发展，是它决定自然界的发展从而也决定自然科学的发展。在《自然哲学》中，黑格尔依据自然界的发展过程对自然科学进行如表1-1所示。

---

① 马克思恩格斯全集(20卷).北京：人民出版社，1971：593.

② 马克思恩格斯全集(20卷).北京：人民出版社，1971：26.

表 1-1

绝对观念的发展	存在——————本质————概念		
自然界的运动	质量的运动——分子的运动——生物的运动 原子的运动		
自然科学的分类	机械论—————— 天体力学 地球上的力学	化学论———— 物理学 化学	有机论 植物学 动物学

4. 恩格斯(1820～1895年)的科学分类

19世纪30～70年代末,自然科学一日千里地前进,出现了一系列重大发现,如:天文学康德-拉普拉斯的星云假说、地质学赖尔的地球渐变说、物理学迈尔与焦耳等的能的转化规律、化学维勒从无机物合成有机物、生物学施旺与施莱登的细胞学说和达尔文的进化论,等等。恩格斯从唯物辩证法的观点出发,概括总结了当时自然科学一系列重大发现,深刻地指出:自然科学的这些发现,在两百多年来占统治地位的僵化的自然观上打开了缺口,使我们又回到了希腊哲学的伟大创立者的辩证法观点,即:"整个自然界,从最小的东西到最大的东西,从沙粒到太阳,从原生生物到人,都处于永恒的产生和消灭中,处于不断的流动中,处于无休止的运动和变化中。"①

恩格斯极富远见地指出,自然科学已经到了一个伟大的历史转变时期:从搜集材料的科学转变为整理材料的科学,转变为关于过程,关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学②。在这个转变过程中,由于自然科学一系列重大发现,使我们对自然过程的相互联系的认识大踏步地前进了,"我们现在不仅能够指出自然界中各个领域内的过程之间的联系,而且总的说来也能指出各个领域之间的联系了。这样,我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实,以近乎系统的形式描绘一幅自然界联系的清晰图画。"②

恩格斯根据自然科学的最新发现,以唯物辩证法的观点为依据,批判地吸取了圣西门和黑格尔的合理思想,概括地总结了19世纪自然科学的重大成果,法拉第电磁感应理论、分子运动论、元素周期律,生理学、胚胎学、古生物学以及地质学,特别是细胞学说、能量转化定律和进化论三大发现等领域的最新成果,进行新的科学分类。恩格斯深刻地指出:

---

① 马克思恩格斯全集(20卷).北京:人民出版社,1977:570.

② 马克思恩格斯选集(4卷).北京:人民出版社,1971:241.

① 能量转化定律揭示:"转化过程是一个伟大的基本过程,对自然的全部认识都综合于对这个过程的认识中。"[①]现在,自然界中各种运动的统一,"已经不再是哲学的论断,而是自然科学的事实了。"[②]通过它,物理学中的各门学科(力学、光学、热学、磁学和电学)就相互联系起来了。

② 细胞学说与生物进化论表明:一方面,在生物界中,"机体从少数简单形态到今天我们所看到的日益多样化和复杂化的形态一直到人类为止的发展系列,基本上是确定了。"它证明了"今天存在于我们周围的有机自然物,包括人在内,都是少数原始单细胞胚胎的长期发育过程的产物,而这些胚胎又是由那些通过化学途径产生的原生质或蛋白质形成的。" 另一方面,又证明了有机界领域内固定的分类界线一一消失了。生物学中的各门学科(细胞学、微生物学、植物学、动物学、人类学等)也是相互联系的。

科学研究的主要对象是各种不同的物质运动形式,每门科学所研究的或者是个别的运动形式,或者是相互关联、相互转化的运动形式。因此,恩格斯认为:科学的划分必须依据运动形式的划分;各门科学之间的相互联系就是各种不同的物质运动形式之间的相互联系。据此,恩格斯将宇宙间的物质运动形态分为五大类,并以研究对象为分类依据,对当时的自然科学进行了如下的分类:

机械运动-天文学-固体力学、力学-流体力学;

物理运动-物理学(分子的力学)-力学、热学、电学、磁学、光学;

化学运动-化学(原子的物理学)-无机化学-热化学、电化学、有机化学;

生命运动-生物学(蛋白质的化学)-植物学、动物学、人类学;

社会运动-社会科学。

恩格斯还特别注意研究各种运动形式之间的转化,以及与之相联系的各邻近学科之间的转化问题,并预言在这些被忽略的边缘领域可望取得最大的成果,生长出新的学科。

5. 马克思恩格斯的科学体系

从 19 世纪 40 年代到 80 年代初,马克思恩格斯批判地继承黑格尔哲学的合理成果,在研究资本主义社会的经济运动规律上,发现了剩余价值规律。由于唯物主义历史观和通过剩余价值揭破资本主义生产的秘密,对社会现象的研究变成了科学。至此,终于建成了马克思主义的科学体系,如表 1-2 所示。

---

① 马克思恩格斯全集(20 卷).北京:人民出版社,1971:16.

② 马克思恩格斯全集(20 卷).北京:人民出版社,1971:537.

表 1-2

<table>
<tr><th colspan="2">科学分类</th></tr>
<tr><td rowspan="3">马克思主义哲学</td><td>自然科学</td></tr>
<tr><td>社会科学</td></tr>
<tr><td>思维科学</td></tr>
</table>

1.3　现代科学技术发展的新特点

20 世纪以来，科学与技术的发展呈现出一系列新的特点。

1.3.1　科学认识的范围空前扩大，科学技术知识量以指数律增长

到 20 世纪后期，天文学、地学、生物学有了飞速的进步，人们对自然界的认识空前地扩大了，今天人类正探索着从渺观、微观、宏观、宇观一直到胀观五个层次的时空范围的客观世界，即：

渺观	微观	宏观	宇观	胀观
10^{-34}厘米 （超弦）	10^{-15}厘米 （量子力学）	10^{2} 米 （牛顿力学）	10^{21}米 （相对论）	10^{40}米

特别是对宏观层次（人类赖以生存和发展的环境）的研究更详尽了，它的结构如下：

地球（地壳、地幔、地核）-大气圈-水圈-生物圈

现代科学绝大部分是对宏观层次（包括地球、生命、生物、人类与人类社会）的研究，产生与形成了许多新领域、新学科。

与此同时，科学技术知识量的增长速度加快，20 世纪以来，人类的科学技术成果比过去两千多年的总和还要多。据统计，1980 年人们所用的科学技术知识有 90％以上是第二次世界大战后的 30 年中得到的。以此推算，人类到 2020 年将拥有的科学技术知识中，有 90％现在还没有创造出来。正是在“知识爆炸”的时代，一方面知识量更新的速度加快；另一方面全世界用于科研经费已达到每年 5000 亿美元以上，人数达 5000 万以上。

1.3.2　科学技术发展高度分化与高度综合

当前的趋势以综合为主。在各门科学与各门技术分化的过程中，它们又相互交叉、相互渗透，产生出新的和综合性学科，形成了统一的、完整的科学技术体系。现代科学技术综合化的趋势表现在：

（1）“科学-技术一体化”趋势

19 世纪 60 年代以后，由于马克斯韦电磁场理论的建立（1862～1864 年）、赫兹

关于电磁波实验的成功(1887年),开始了科学、技术一体化过程。在此之前,技术决定着科学;在此之后,科学走在技术的前面,开始了科学与技术一体化的趋势:一方面,现代科学必须依靠一定的技术手段才能进行深入的研究,像基本粒子物理学必须借助于高能加速器;另一方面,现代技术的发展,必须以现代科学为理论基础,技术理论要应用科学研究的成果;技术研究要应用科学研究的方法与手段。

(2)"科学-技术-工程一体化"趋势

进入20世纪,特别是第二次世界大战以后,科学与技术的一体化大大地加速了科学转化为直接生产力的过程,形成了"科学-技术-工程一体化"的趋势,即:

基础科学-技术科学-工程技术

从此科学、技术与工程相互联系成一个系统的整体。科学既是工程通过技术得出的概括性的结果,同时又是工程的前提条件,于是科学、技术与工程三者相互作用的形式,从单向转变成双向过程,即"科学-技术-工程一体化"的过程,在这个过程中,科学起着先导和指导的作用。这意味着科学技术系统已经成为生产力系统中一个非常重要的组成部分了。

由于这个一体化过程,科学发现、技术发明、生产中的实际应用的周期便大大缩短。据统计,19世纪以前重大发明的周期如表1-3所示。

表 1-3

	蒸汽机	蒸汽机车	柴油机	电动机	电话	无线电	真空管	电子管	汽车
周期	100年	34年	19年	57年	56年	35年	33年	31年	27年
发明的年份	1680年	1790年	1878年	1829年	1820年	1867年	1899年	1884年	1968年

进入20世纪以后,由于"科学-技术-生产"一体化过程的加快,许多重大发明的周期缩短了,如表1-4所示。

表 1-4

	雷达	电视机	晶体管	原子反应堆	激光器
周期	15年	12年	5年	5年	3年
发明的年份	1925年	1922年	1948年	1939年	1958年

"科学-技术-生产一体化"的必然结果,是陆续涌现一大批交叉科学技术;由于科学、技术与经济的结合,特别是工业科学技术带来的严重的环境、资源、人口问题,给人类提出了一系列的单一学科所不能解决的复杂课题,必须依靠相关的科学、技术及哲学、依靠科研人员进行广泛的交流与合作才能解决。正是由于社会需求的推动,交叉学科研究的发展得到了极大的促进,诞生了一系列交叉学科,如信息科学技术、环境科学技术、能源科学技术,等等。

1.3.3 现代科学普遍数学化

马克思说过，一切科学只有在成功地运用数学时，才算达到了真正完善的地步。这是对科学数学化的深刻预见。现代科学技术的发展，使数学敲开了从事定性分析的学科的大门，促进了各门学科数学化的趋势，继力学、物理学、化学、生物学、天文学等自然科学相继成为运用数学手段从事研究的学科之后，数学又迅速地闯入了哲学社会科学的领地。现代数学的发展加速了现代科学的数学化，这是因为：

一方面科学技术发展的一个重要特点是高度的、全面的定量化，定量化实际上就是数学化。为此就必须使用数学，它是科学的语言，具有高度抽象性、严格逻辑性、语言简明性。在此基础上，建立公理化体系：首先是建立基本概念，其次是建立基本公理，再次是建立基本原理，最后就是在“基本概念”、“基本公理”、“基本原理”的基础上，借助数学演绎推理，建立一整套严密的逻辑体系。现代科学的数学化将大大提高理论思维与逻辑分析的能力。

另一方面数学广泛应用于现代科学的研究过程中，包括：第一阶段，数据和资料的收集、分析和解释；第二阶段，科学原理和经验定律的定量表述；第三阶段，数学模型的建立，研究和证实；第四阶段，利用数学模型去获得科学洞察力。

由于科学的数学化，一方面，数学与各门学科交叉结合，形成了大量的新学科；另一方面，形式化的认识理论和手段的研究，形成了一些新的抽象的形式科学。这样，在现代科学体系中就出现了数学化的科学系列，这类系列具有新的科学分类特点，它在科学体系中占有特殊的地位。

1.3.4 交叉学科的建立与发展

现代科学高度综合的表现，是多层次的学科相互交叉与相互渗透，其最明显的特征是一系列横断学科和综合性的学科群不断出现。交叉学科的研究对象不是客观世界的某种物质结构及其运动形式，而是它们的某个共同方面；它的概念和方法在各门科学中都具有普遍的适用性和意义。交叉学科的出现是现代科学技术发展的新特点，其中最突出的是与社会发展紧密联系的交叉科学技术，例如：

（1）以基础自然科学新成果为先导的高新技术群

新产业革命是以计算机工业为龙头，以信息产业为核心，包括新材料、新能源、生物、海洋、空间等产业在内的产业革命。作为这些新产业基础的新材料、新能源、信息、生物、海洋、航天、管理等高新技术群都是交叉科学技术，例如信息科学技术，它包括微电子技术、计算机技术和通信技术。信息科学技术的科学基础是数学、物理学；它的技术基础则是半导体物理学、微电子技术。

(2) 围绕一个重大问题的解决与实现而形成的综合性技术群

如环境科学技术，它主要是运用自然科学和社会科学的有关学科的理论、技术和方法来研究环境问题。在有关学科相互渗透、交叉的中形成了许多分支学科。属于自然科学技术方面的有生态学、自然地理学、环境地学、环境生物学、环境化学、环境物理学、环境医学、环境工程学；属于社会科学技术方面的有环境管理学、环境经济学、环境法学等。

(3) 以软科学为理论基础的交叉科学技术

如管理科学技术，它的自然属性要求：在分工协作条件下的社会劳动，需要通过一系列管理活动把人力资金、物质等各种要素按照一定的方式有效地组织起来，才能顺利进行；它的社会属性则要求，在一定的生产方式下，需要通过管理活动来维护一定的生产关系，实现一定的经济和社会目标。在经济管理中，管理的自然属性表现为科学合理地组织生产力要素，处理和解决经济活动中物与物、人与物之间的技术联系，如生产中的配料问题、生产力布局、规划，以及机器设备的技术性能对操作者的技术水平和熟练程序的要求等；而经济管理的社会属性则表现为调整完善生产关系，调整人与人之间的经济利益关系，如分配体制、管理体制等，都由社会、经济规律支配。在现代经济的发展中，科学管理的基础知识，包括数学、经济学、计算机基础、管理信息系统、运筹学、统计学、财务会计、市场营销、物流与运营管理等。

1.4 现代科学技术分类

自古以来，一些集大成的哲学家就试图为知识的体系化寻找途径，实现知识的统一。他们认为：知识的分散、各门学科之间的孤立和封闭，是妨碍知识进步的。为此，他们试图从方法论、知识论和本体论的角度，论证知识的系统性，证明科学的统一性。

在现代，首先明确提出科学的统一性纲领的是维也纳学派，逻辑经验主义的主要代表人物卡尔纳普(1891～1970年)认为：

① 科学是人类所具有的唯一的有系统、有根据的知识，科学方法是唯一的使人们取得知识的方法。

② 数理逻辑是研究哲学的唯一有效的方法。

③ 不同的知识和学科之间应该具有严密的逻辑关系和严谨的结构。

据此，他以获得知识的方法为依据寻求科学的统一性。卡尔纳普接受康德关于“科学知识何以可能?”的观点，把知识区分为两类：先天知识，用分析命题表述的理性知识；后天知识，用综合命题表述的经验知识。据此卡尔纳普认为，各门科学之间最显著的区别是形式科学和事实科学之间的区别。所以在科学分类问题上卡

尔纳普提出二分法，把科学分成形式科学和经验科学两大类：形式科学由逻辑和数学确立的分析命题构成；经验科学由在事实知识的不同领域确立的综合命题构成。

在其后的整个20世纪，随着科学技术的迅猛发展，科学技术分类问题一直受到各国学者的关注和研究。

加拿大哲学家邦格(1919～)在科学技术分类问题上，首先简要地回顾科学哲学研究的历史，这就是：科学哲学先后经历了逻辑分析(逻辑学转向)、语言分析(语言学转向)、历史分析(历史学转向)和社会分析(社会学转向)的历程。然后，随着"科学-技术一体化"进程加快，随着科学、技术与社会的关系日益密切，邦格认为，科学技术哲学研究应该转向哲学分析(哲学转向)；科学技术的哲学分析要求从逻辑学与语义学，认识论与本体论，价值问题与伦理问题，去研究当代科学技术面临的种种问题。邦格接受了康德、卡尔纳普的知识二分法的观点，首先把科学分为两大类，如表1-5所示。

表1-5

科学分类	形式科学	逻辑学
		数学
	经验科学	自然科学
		社会科学

形式科学包括逻辑和数学：它们不涉及实在的事物，但是无论科学抑或技术都需要应用数学与逻辑学，例如在技术制品(人工自然)中，必须有建模、试验、估算等逻辑分析与数学计算，才能使我们处理经验的公式确凿有效。至于经验科学，它们涉及现实世界中发生的事实，因此必须诉诸经验，并以之作为检验公式的依据。自然科学包括物理学、化学、生物学、个人心理学等。此外，还有文化科学，其中有社会心理学、社会学、经济学、政治科学、物质史、思想史等。

其次，邦格认为，经验科学的对象是天然自然；技术的对象是人工自然，二者都是以研究对象作为分类标准的，他采纳芒福德的观点，认为技术科学是以科学为基础的技术知识。据此，他的技术科学分类如表1-6所示。

表1-6

技术分类	工程科学
	生物化学
	社会学
	信息技术
	通用技术

鲍·米·凯德洛夫(1903～1985年)，是苏联著名哲学家、化学家和科学技术

史专家，关于自然科学分类问题，他以恩格斯提出的分类标准（物质的基本运动形式）为依据，根据现代科学发展的新成就，认为：除了机械、物理、化学和生物的运动形式外，还应该包括地质运动形式；地质运动是无机的（矿物的）物质在行星宇宙体范围内的存在方式；物质运动的化学运动形式分化为有机界和无机界两个分支，其中一支从化学运动进入生命运动，另一支则从化学运动进入地质运动；地质运动形式不同于其他物质的基本运动形式，因为地球是物质运动形式的负荷者，它有岩石圈、水圈和大气圈三个圈层，这三个圈层之间以及圈层内部各组成部分之间存在着复杂的相互作用，这种相互作用是机械的、物理的、化学的以及生命的运动形式的综合，而不是它们的总和。凯德洛夫提出的现代自然科学的分类体系如下[①]：

数学-力学-物理学-化学-生物学-地质学

在力学与物理学之间是量子力学与亚原子物理学；

在物理学与化学之间是物理化学与化学物理；

在化学与生物学之间是生物化学与地质化学；

从生物发展到人有：生物学-动物学-人体生理学-人类学。

总的看来，科学从16世纪哥白尼-牛顿科学革命起，经过四百多年的发展；再经过18世纪工业革命科学与技术的相互渗透、相互融合，迅速地成长为多层次的、动态的网络结构。在科学技术发展的新形势下，如何提出新的科学分类原则建立相对完整的现代科学技术体系？这是我们时代的一个重大课题。因此，改革开放后我国在科学分类问题上曾经进行热烈的讨论，不少学者从事这项工作的研究，二十多年来主要有以下几种不同的科学分类[①]：

（1）第一种把现代科学分为四大门类

首先从研究对象提出，现代科学的两大门类：一是自然科学，它研究自然界的运动规律；二是社会科学，它研究社会的运动规律。第三个门类是数学，它研究客观世界量的关系，为科学研究从定性过渡到定量提供数学方法。第四个门类是边缘科学（又称交叉科学），它是由原有基础学科的相互交叉和渗透所产生的新学科的总称，其共同特点是：运用一门学科或几门学科的概念和方法研究另一门学科的对象或交叉领域的对象，使不同学科的方法和对象有机地结合起来。20世纪40年代以来，不断出现的边缘学科正日益消除各种传统的学科界限，使各门科学结成一个完整统一的科学知识体系。这是新的科学技术发展的新特点、新趋势。边缘学科的不断产生大大扩展了科学研究的对象与范围，揭示了自然界新的奥秘，开创了新的实验技术，形成了新的理论思想，引起了人类对整个客观世界的认识在观念上的深刻变化、对整个客观世界的改造产生了巨大的影响。

至于哲学则是各门科学的概括与总结。

---

① 自然辩证法百科全书. 北京：中国大百科全书出版社，1995.

(2) 第二种把现代科学技术分为四大门类、四个层次

按照马克思主义哲学观点，科学分为自然科学、社会科学与思维科学三大部门，而马克思主义哲学(辩证唯物论)“不过是关于自然、人类社会和思维的运动和发展的普遍规律的科学”①，是自然科学、社会科学与思维科学的概括与总结。科学的三个部门分别通过自然辩证法、历史唯物论和辩证法认识论和马克思主义哲学联系。此外，数学是研究客观世界的数量关系与空间形式的科学，它是一切科学技术从定性到定量所必需的。

从 20 世纪 30 年代后期开始，现代科学技术认识过程分为三个层次，这是由德国哥廷根大学伟大的数学家 F. Klein 在第一次世界大战前夕创始的，他把从基础科学研究到工程技术实践的过程区分为如下的三个层次：

基础科学-技术科学-工程科学

所以，从马克思主义哲学的观点看，整个现代科学技术认识过程可以划分为：

马克思主义哲学-联系桥梁-基础科学-技术科学-工程科学

(3) 第三种②从交叉科学的角度把现代科学分为四大门类

交叉科学是现代科学发展的趋势，从交叉科学的观点看，对原有的科学采取不同的分类标准，科学的四大门类也不同：

① 如果按研究对象将科学分为自然科学、社会科学和思维科学三大门类，那么交叉科学就是这三门科学的交叉，属于科学的第四门类；

② 如果按科学知识的特征将科学分为形式科学、经验科学和规范科学三大门类，那么交叉科学就是这三门科学的交叉，属于科学的第四门类。

纵观以上所述，从古代到现代关于科学分类的各种观点、各种不同意见，都和以下几个方面有关：

① 哲学的观点与方法。

② 科学观与技术观及科学与技术之间的关系。

③ 科学技术发展的水平与状况。

④ 科学技术发展与人类进步。

⑤ 科学技术发展的历史文化环境。

但是，尽管存在着各种各样不同的科学分类观点，其中仍然有共同追求的目标，这就是：

① 科学分类是要反映科学发展的趋势。这表现在：科学分类与科学技术体系是不可分割的；科学分类是科学技术不断分化的要求，科学体系是科学技术不断综合的要求。

---

① 马克思恩格斯选集(20 卷). 北京：人民出版社，1977：154.

② 金吾伦. 跨学科研究引论. 北京：中央编译出版社，1997.

② 构建科学技术体系是要揭示科学技术发展的规律。这表现在：通过科学技术体系从宏观上、动态上揭示各门科学技术之间的相互联系、相互作用与相互促进，指出科学技术体系的发展方向，表明新学科的成长和老学科的消亡或重新划分。

新的科学技术发展的新特点，对进行科学分类、对构建科学技术体系，提出了新的问题与新的要求，这是事关社会发展的课题，需要有站在哲学高度、拥有现代科学技术深厚功底、关心人类命运与中国前途的人物，进行艰苦的探索。

参考文献

恩格斯. 反杜林论. 北京：人民出版社，1976.

金吾伦. 跨学科研究引论. 北京：中央编译出版社，1997.

马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971.

马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1977.

马克思恩格斯全集(2卷). 北京：人民出版社，1965.

马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1971.

钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982.

自然辩证法百科全书. 北京：中国大百科全书出版社，1995.

第二章　钱学森创建的现代科学技术体系[①]

2.1　钱体系的基本思想

历史上从事科学分类、创建科学体系的名家大都是有哲学眼光、学识渊博、与时代的脉搏息息相关的人物。古代有亚里士多德；近代有培根、圣西门和黑格尔，而以马克思恩格斯为最高的概括。进入现代，科学革命与技术革命两股浪潮汹涌澎湃，席卷全世界，人类社会面貌发生了翻天覆地的变化，这充分地证明了马克思的预见："科学是一种在历史上起推动作用的、革命的力量。"[②]现代科学技术已经突破了恩格斯关于近代科学体系的论述。在新的历史形势下，钱学森以马克思主义哲学为指导，在中西方文化互补、融合的基础上，提出"现代科学技术体系"和"开放复杂巨系统的理论与方法"，它无论在科学技术体系的内容方面，还是在科学技术方法论上，都是科学技术发展史上重大的理论创新。已经引起我国和世界科学界的普遍关注。

钱学森创建钱体系的过程中，必然涉及以下重大问题，他以其渊博的学识、深厚的科学基础、坚定的马克思主义信念、严肃认真的学风、勇于探索的精神，实事求是地作出科学的回答。

2.1.1　如何看待马克思主义哲学

在改革开放过程中，发达国家关于科学技术的学说及其成果陆续介绍到我国，随之出现一股否定马克思主义哲学的思潮。于是，马克思主义哲学是否过时？如何坚持与发展马克思主义？成为广泛关注的大问题。

钱学森一直活跃在科学发展前沿，自觉地信奉辩证唯物主义，在构建现代科学技术体系的过程中，他坚持与发展马克思主义哲学，强调指出：总结近100年的历史教训，马克思主义哲学有其崇高的位置，它是人类实践最高的概括与总结。因此，在构建现代科学技术体系时，他把马克思主义哲学放在现代科学技术体系的顶层，这表明了钱学森建立现代科学技术体系的指导思想，即：一方面，我们的一切科

---

① "钱学森创建的现代科学技术体系"本书简称为"钱体系"。

② 马克思恩格斯全集(19卷). 北京：人民出版社，1977：375.

学技术研究都是以马克思主义哲学为指导的①;另一方面,科学技术的发展也必然会推动马克思主义哲学的发展与深化②。

钱学森在现代科学技术体系中把联系哲学与科学的"中介"叫做"桥梁",通过它来实现哲学与科学的相互联系、相互作用与相互促进。他指出:马克思主义哲学通过"桥梁"去指导科学技术活动,同时,各门科学技术发展也通过"桥梁"反馈到马克思主义哲学,来深化发展马克思主义哲学③。

钱学森坚持认为:"把现代科学技术同马克思主义哲学组成一个严密的体系,表明了两点基本思想:一是马克思主义哲学作为科学技术的最高概括,一定要指导一切科学技术工作,这是从原则到具体的指导;二是马克思主义哲学又是从科学技术即人类实践概括出来的,科学技术的进步,人类实践的发展,也必然会丰富并深化马克思主义哲学。"④

2.1.2　如何看待西方两大哲学思潮——机械唯物论与逻辑实证论

钱学森在创建开放复杂巨系统的过程中,批判分析了机械唯物论与逻辑实证论,以辩证唯物主义为指导,站在系统观与系统科学的立场上,总结哲学、特别是生物科学认识史上的方法论,提出极为重要的思想。他认为:现代科学技术研究的对象大都是开放复杂巨系统,必须在方法论上有重大的变革和发展,经典自然科学的还原论方法是不行的,要坚持系统论的观点,要从这个观点出发去看待外国人的工作,去评价它,要一分为二,好的吸取,不那么正确的我们不能跟着跑⑤。钱学森正确地提出以下的论点:

① 要辩证地看问题,而不是机械唯物论,必须用辩证的方法,以补充机械论的还原论方法。

② 系统观、系统科学辩证法是在现代科学技术基础上发展起来的辩证法,它的原则"是整体论和还原论的辩证统一",因为不讲整体不行,只讲整体也不行;不研究局部不行,只研究局部也不行。

③ 综合集成方法是研究复杂巨系统的方法。它"通过人、机结合,以人为主,把不同领域的科学知识和经验知识、定性知识和定量知识、理性知识和感性知识,

---

① 钱学森,等. 论系统工程. 长沙:湖南科学技术出版社,1982:216.
钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京:中共中央党校出版社,1987:128.

② 钱学森. 创建系统学. 上海:上海交通大学出版社,2007:5,6.

③ 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京:中共中央党校出版社,1987:128~131.

④ 钱学森. 关于思维科学. 上海:上海人民出版社,1986:9.

⑤ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京:人民出版社,1996:149,157.

通过人机交互、反复对比、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，从而对经验性假设作出明确的结论。”①

2.1.3 如何继承与弘扬中国文化的优秀传统

中国科学技术与西方科学技术，文化背景不同，思想观点不同，因而二者的理论体系是不同的。这突出地表现在中医学上，中医学是具有中国特色的生命科学，它的丰富的文化底蕴鲜明地表现在：中医学是直接与中国古代哲学思想结合在一起的，从而形成了它独特的理论体系和临床思维模式。

中医学的经典《黄帝内经》是一部思想丰富的哲学巨作，同时又是一部博大精深的医学巨著。在哲学上，它包含了我国古代朴素的唯物论、辩证法思想：天人合一的自然观，生成论的整体观，朴素的辩证法。在医学上，它包括以下学说：脏象学说，气血精津液学说，体质学说，经络学说。

上述学说相互渗透，互为补充，形成了中医学对生命规律的独特的精辟的认识。特别是中医养生学，视精神、心态、思想情绪为影响人的寿命的重要的、甚至是决定性的因素。从根本上看，中医学是心性之学，它除了重视人体外，特别重视人的精神状态与心理状态，强调通过“形、气、神”统一体的阴阳调节，以达到人的系统整体运行向平衡态、稳定态回复，因而中医是健康医学，调整医学。

钱学森以马克思主义哲学为指导，从开放复杂巨系统的理论与方法出发，批判地分析了机械唯物论、逻辑实证论在学术思想中的统治，认为必须用系统论、信息论、量子论、复杂性理论等现代科学研究新成果，丰富和发展中国传统医学，坚持与发扬中医学的特色与优势，这是中医现代化的方向。

2.1.4 如何适应科学整体化时期的需要构建现代科学技术的认识论、方法论

现代科学技术革命的深入发展，充分地表明从经典自然科学向现代科学转型时期已经到来，与此同时，复杂性研究成为当前世界科学技术前沿的重大问题，钱学森敏锐地把握时代的新动向，创造性地提出开放复杂巨系统的理论与方法：

首先他开拓与深化了开放复杂巨系统的概念：

① “开放的”不仅意味着系统与环境进行物质、能量、信息的交换，还意味着系统对环境的适应与进化，因此在分析、设计与使用系统时要注意系统行为对环境的影响，要注意开放的系统是动态的并且是不断变化的。

② “复杂性”单纯用还原论的定量化、形式化方法来描述是远远不够的，必须从演化的、生成的、自组织的观点来理解，因为与复杂性有着不可分割的联系的等级层次结构是在演化过程中“涌现”出来的。

---

① 北京大学现代科学与哲学研究中心. 钱学森与现代科学技术. 北京：人民出版社，2001：21.

其次他创建了开放复杂巨系统的方法论。现代科学技术发展的特点是既高度分化又高度综合:一方面学科不断分化,新学科、新领域层出不穷;另一方面不同学科、不同领域之间相互交叉、相互融合。钱学森认为,交叉科学(研究的大多是复杂性问题)是一个非常有前途、非常广阔而又重要的科学领域,如何综合运用现代科学技术知识这个宝贵的知识库,以提高我们认识世界、改造世界的能力和水平,这是十分重要的方法论问题。

钱学森以马克思主义哲学为指导,根据现代科学技术革命的新发展,运用系统科学最新的成就,深入地探索"开放的复杂巨系统"的方法论,独创地提出了"从定性到定量综合集成方法",把两百多年来简单性科学的研究方法提升到一个新的、更高的层次——复杂性科学的研究方法。

2.2 钱体系的划分依据

2.2.1 钱体系的纵向划分

现代科学技术体系"是系统的、有结构的、组织起来互相关联的、互相贯通的"[①]学问。

1979 年,钱学森发表《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》一文,引述、分析恩格斯关于近代自然科学的重要论断后指出:"我们当前的任务是如何把恩格斯提出的'伟大的整体的联系的科学'完整起来,它要包括自然科学、科学的社会科学和工程技术,也就是建立科学技术体系学,研究其组成部分的相互联系和关系,学科的产生、发展和消亡,体系的运动和变化。"[②]从此开始了他对现代科学技术体系的研究与探索。

钱学森在构建现代科学技术体系的过程中,强调马克思主义哲学指导,认为马克思主义哲学是人类认识的最高概括。它当然要指导一切科学技术的研究与探索,要指导科学技术体系的研究与创建。

在创建现代科学技术体系的过程中,钱学森坚持马克思主义认识论,坚持"实践的观点是辩证唯物论的认识论之第一的和基本的观点。"[③]反复强调最重要的是:要从实践来,又要指导实践。

在对科学技术体系的纵向划分问题上,钱学森在实践论观点指导下,进行了理论创新。

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海:上海交通大学出版社,2007:3.

② 钱学森,等. 论系统工程. 长沙:湖南科学技术出版社,1982:211.

③ 马克思. 关于费尔巴哈的提纲. 见:马克思恩格斯全集. 北京:人民出版社,1965.

1. 钱学森区分出科学技术认识过程的三个层次

钱学森指出，现代科学技术从工程实践到基础理论的认识过程，可以分为三个层次；首先是工程技术这一层次，然后是直接为工程技术作理论基础的技术科学这一层次，再就是基础科学这一层次，即：

工程技术-技术科学-基础科学

在这个基础上“最后通过进一步综合、提炼达到最高概括的马克思主义哲学。”[①]这就是现代科学技术体系结构的纵向划分。

联系基础科学与工程实践之间的桥梁——技术科学，运用基础科学理论解决工程实践问题。技术科学的研究，在历史上可以溯源到20世纪初德国哥廷根大学伟大的数学家克莱因。20世纪20年代中，由铁木辛柯和冯·卡门把克莱因学派的研究方向带到美国。到了40年代，美国著名的理工院校就已经充分认识到理工合一的教育原则的必要性并将之付诸实施。

钱学森总结了技术科学产生与形成的历史，根据20世纪中叶自然科学的辉煌成就，特别是根据他自己在航空技术与工程控制论的理论与实践，认为现代科学技术发展的规律是：一切工程技术都可以看作是基础科学理论的应用，而技术科学则是从基础科学理论到工程技术必不可少的中间环节[②]。

钱学森明确提出，技术科学研究的问题是工程技术中带有普遍性的理论，它是基础科学和工程技术的综合。他还提出了技术科学的研究方法，这就是：

明确问题，以便运用科学的规律探索解决问题的方向；

建立模型，抓住主要因素，撇开次要因素；

进行逻辑推演和数学计算。

钱学森不仅在理论上充分论证了发展技术科学的重要性与研究方法，而且在实践中为培养适应现代化需要的工程科学家做了大量工作。1955年他回到祖国的怀抱，在回国的第二个月里，就受命创建中国科学院力学研究所，当时的建所模式不只限于力学，还包括了自动控制、工程经济、物理力学等，这实际上是按照工程科学的框架来建所的。1956年起，他和钱伟长一起创办了三期力学研究班；1958年，他和郭沫若、严济慈、华罗庚等一起组建了中国科技大学，开始大批培养工程科学家的工作。1957年，他在《科学通报》上发表了题为“论技术科学”的论文，按国内的习惯将“工程科学”改称为技术科学，全面地论述了技术科学的范围、方法论以及培训和组织等各个方面。20世纪70年代，哈尔滨军事工程学院迁往长沙，组建国防科技大学，时任国防科委副主任的钱学森，又将这一理工结合的教育思想贯彻

① 钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982：296.

② 钱学森. 论技术科学. 科学通报，1957，(4).

于该校的建校方针之中，再次强调在工科院校中要加强基础理论的教育，使培养出来的学生能适应现代科学技术的飞速发展。80年代末，钱学森根据他长期从事科学研究和科学管理的切身感受，提出培养"科技帅才"的观点，认为为了建设四个现代化，在科技队伍的顶层，需要有科技帅才，他们不仅要有雄厚的自然科学理论知识、丰富的工程实践经验，而且要有社会科学和哲学的修养，要文理工相结合。正是在钱学森对新兴学科——技术科学的大力倡导和多方努力下，我国一代又一代的航天技术人才迅速成长，我国的航天事业从无到有，在很短的时间内取得了举世瞩目的成就。

2. 钱学森认为科学技术认识的基础是前科学

马克思主义哲学强调理论的基础是实践，又转过来为实践服务。人们在实践过程中，先是产生了感觉和印象，形成了经验，这是认识的感性阶段；然后进一步深入研究，产生了概念，并使用判断和推理的方法，形成了理论，这是认识的理性阶段，整个认识过程是：

实践→感性认识→理性认识

钱学森在构建现代科学技术体系时，坚持实践第一的观点，认为整个科学技术认识过程是：

实践→前科学→科学技术→桥梁(部门哲学)→哲学

现代科学技术认识，无论如何复杂、如何高深，归根结底来源于实践，来源于在实践基础上产生的感性认识(经验知识)，钱学森称之为前科学。前科学知识"还要进一步的提炼、组织、真正纳入到现代科学技术体系里面去，那才是科学。"①前科学可以划分为如下的两个层次：

不能形成文字的实践感受→实践经验知识库和哲学思维

钱学森指出："人从实践中认识到很多东西，其中有些东西还没有进到科学的结构里面去，是经验。"因此，人类的知识包括两大部分：一部分是现代科学体系；还有一部分是前科学，即进入科学体系以前的实践经验。在前科学中有一部分将来条理化了，纳入到科学的体系里。后来他又再次明确地指出前科学在现代科学技术体系结构中的地位，他说："不能纳入现代科学技术体系的知识是很多很多的，一切从实践总结出来的经验，即经过整理的材料，都属于这一大类。我称之为'前科学'，即有待进入科学技术体系的知识。"科学技术的体系绝不是一成不变的，人认识客观世界的总体过程是：

实践-前科学-科学技术-桥梁(部门哲学)-哲学

所以我们绝不能轻视前科学(经验科学)，没有它就没有科学的进步。

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：3.

3. 钱学森通过桥梁来联系各门科学技术与哲学

哲学与科学都是由概念、范畴与规律组成的理论体系，但是认识的层次不同：哲学的对象是关于客观世界的全部领域与总的联系，关于客观世界的最普遍、最根本的东西；科学的对象是关于客观世界的某一领域与个别联系，关于客观世界的某一方面的特殊本质。从实践论的观点看，科学与哲学是整个认识过程中既相互区别又相互联系的两个层次，即：

实践⟷前科学⟷科学⟷哲学

由此看来，马克思主义哲学与现代科学技术的关系是辩证的：一方面马克思主义哲学是对人类知识的最高概括，同时也是人类一切实践经验的最高概括，因此，马克思主义哲学必然对自然科学、社会科学、技术科学、数学和工程技术的发展有指导作用；基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导[①]。另一方面，现代科学技术是丰富、深化马克思主义哲学的源泉，是推动马克思主义发展的强大动力，恩格斯早就指出：在近代哲学发展过程中，真正推动哲学家们前进的，"主要是自然科学和工业的强大而日益迅速的进步。"[②]

因此，钱学森在创建现代科学技术体系过程中，除了前面的科学技术认识阶段和前科学阶段外，还提出了一个阶段，即联系每一门科学技术与马克思主义哲学的阶段，辩证法称之为"中介"，钱学森把它叫做"桥梁"[③]。这样，整个理性认识过程就包括三个阶段，即：

科学技术→桥梁（部门哲学）→哲学

这对于发展马克思主义哲学具有十分重要的意义。我们看到，在科学发展史上，科学与哲学的关系最典型的是物理学与哲学关系，按照钱学森关于理性认识过程的三个阶段的分析，可以表示如下：

物理学→桥梁（物理学哲学）→哲学

以牛顿物理学为例，一方面古希腊的原子论哲学是牛顿微粒说的来源，是牛顿物理学研究的指导思想，所以爱因斯坦在《物理学、哲学和科学进步》一文中说：哲学"是全部科学研究之母。"[④]另一方面，牛顿物理学反过来又以力学为基础的机械观与还原论，深刻地影响了哲学的发展，正如爱因斯坦所指出的：科学的各个领域对哲

---

① 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：53，59，107，108，111.
钱学森. 基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导. 哲学研究，1989，(10)：3，5.

② 马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1977：222.

③ 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：4.

④ 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集. 北京：商务印书馆，1976：519.

学家发生强烈的影响，此外，还强烈地影响着每一代的哲学思想①。

钱学森在现代科学技术体系的纵向划分问题上的理论创新，丰富与发展了马克思主义认识论，他进一步把在实践基础上认识过程划分为不同的阶段与不同的层次，从而更清楚地揭示了现代科学技术认识过程中各个阶段与各个层次之间的相互联系与相互区别。如表 2-1 所示。

表 2-1

<table>
<tr><td colspan="8">马克思主义认识论</td></tr>
<tr><td rowspan="3">实践活动</td><td colspan="2">感性认识过程</td><td colspan="5">理性认识过程</td></tr>
<tr><td colspan="2">前科学阶段</td><td colspan="3">科学技术阶段</td><td>桥梁阶段</td><td>哲学阶段</td></tr>
<tr><td>实践感受</td><td>知识库</td><td>工程技术</td><td>技术科学</td><td>基础科学</td><td>部门哲学</td><td>哲学</td></tr>
</table>

表 2-1 表明，钱学森对马克思主义认识论的理论创新在于：

① 把认识的两个过程细分为四个阶段，即：

前科学→科学技术→桥梁(部门哲学)→哲学

② 把感性认识阶段分为两个层次，即：

不能形成文字的实践感受→实践经验知识库

③ 把科学技术认识阶段分为三个层次，即：

工程技术→技术科学→基础科学

这样，钱学森就在总结现代科学技术认识的基础上，进一步深入地揭示了工程实践与科学理论相互联系与相互转化的中间环节——技术科学，并阐明了它的必要性与重要性。

2.2.2　钱体系的横向划分

科学技术体系的横向划分就是科学分类，科学分类随着人类认识世界与改造世界的知识不断增加，在不同的历史时期是不同的。

1. 恩格斯的科学分类

辩证唯物主义的观点认为，运动与物质是不可分割的，自然科学研究的对象就是"运动着的实物"②。每一门自然科学都是研究某一个别的运动形式或一系列互相关联和互相转化的运动形式的，因此，"科学分类就是这些运动形式本身依据其内部所固有的秩序的分类和排列。"③

① 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集. 北京：商务印书馆，1976：519.

② 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：591.

③ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：593.

根据这个观点，恩格斯在概括总结19世纪自然科学的最新成果（如细胞学说、能量守恒定律和进化论三大发现，法拉第电磁感应理论、分子运动论、元素周期律），以及生理学、胚胎学、古生物学、地质学领域的最新成果的基础上，将宇宙间的物质运动形式分为如下六大类，相应地自然科学分为六大部门，即：

机械运动——天文学（天体的运动）；

物理运动——物理学（分子的运动）；

化学运动——化学（原子的运动）；

生命运动——生物学（蛋白质的运动）；

社会运动——社会科学（社会形态的运动）；

思维运动——思维科学（思维形式的运动）。

2. 钱学森新的科学分类

恩格斯以后一百多年，科学不断分化，技术层出不穷，科学技术发展成为一个十分庞大的体系，如何对科学技术进行分类？这是新的问题。

矛盾论的观点认为：科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性；而矛盾就是问题，哪里有没有解决的矛盾，哪里就有问题。钱学森从这个观点出发认为，科学分类不能按照研究对象来区分，因为一切科学都是以客观世界为研究对象，只是研究的“着眼点或角度”不同罢了，例如：

自然科学是从物质在时空中的运动、物质运动的不同层次、不同层次的相互关系这个角度来研究整个客观世界的；

社会科学是从人类社会发展运动，即从人类社会内部发展运动以及人类社会发展运动和客观世界的相互影响这个角度来研究整个客观世界的；

数学科学是从质和量的对立统一、质和量的相互转变的角度来研究整个客观世界的；

系统科学是从部分与整体、局部与全局以及层次关系的角度来研究整个客观世界的；如此等等。

钱学森说的“着眼点或角度”，实际上就是事物本身中存在的“矛盾或问题”。在科学技术发展史上，一种矛盾产生与发展，研究它的科学也随之产生与发展；新的矛盾出现，新的学科也诞生。钱学森正是从矛盾论的观点出发，对现代科学技术进行分类的。他根据现代科学技术发展的水平，从横向上把人类认识世界、改造世界的知识分为十一个大门类。它是一个开放的体系，因为随着科学技术的发展，必然会有新的科学技术部门诞生。

系统论的观点认为：现代科学技术既然是从不同的角度研究客观世界的不同“矛盾”，不同“问题”的，它们就构成一个相互联系的、系统的整体，必须运用系统论的观点。钱学森在创建现代科学技术体系的过程中，把它看作一个系统，强调“系

统”的观点，认为局部与全部的辩证统一，事物内部矛盾的发展与演变等，是“系统”概念的精髓，是辩证唯物主义的常理①。现代科学技术体系包含的十一个科学门类，就是一个系统的整体。

当前，我们正处在科学技术发展史上一个伟大的转变时刻——从分门别类研究转向交叉科学（interdiscipline，亦译跨学科）研究，交叉科学研究涉及众多的、与问题有关的科学技术，这些科学技术不是彼此孤立的，而是相互联系、相互渗透与相互作用的一个系统的整体。例如，在三峡水电站这样的大型工程，在认识与建造的过程中，各种矛盾错综复杂地交织在一起，解决的问题很多，应用的科学技术很多，如农民搬迁、土地淹没、鱼类回游、船只航行、生态后果等问题。这些问题（经济问题、生产问题、社会问题与环境问题等）交叉在一起。因此钱学森创建的，现代科学技术体系与交叉科学研究有着不可分割的联系。

2.3　钱体系的探索历程

钱学森的现代科学技术体系，是对人类认识和改造客观世界成果的概括反映，它经历了几十年的探索历程。

2.3.1　钱学森对一百多年来科学技术发展状况的总结

20 世纪 70 年代末，科学学作为一门新兴学科介绍进我国。科学学以整个科学技术为对象，研究它本身以及它同经济、社会相互关系的客观运动规律，并根据这种客观运动规律研究如何促进科学技术与经济、社会协调发展的原理、原则和方法。

1980 年钱学森发表《关于建立和发展马克思主义的科学学的问题》①一文，认为科学学的一个重要内容是科学技术体系学，它把各个学科组合成为一个整体的、联系的体系。科学技术体系与科学技术发展有着不可分割的联系，因此，钱学森首先对科学技术体系的历史发展作出概括与总结。

200 年前，没有马克思主义的哲学，也没有科学的社会科学，科学技术就只有一个部门，如表 2-2 所示。

表 2-2

自然科学

130 年前，工程技术还没有成为学问，改造客观世界的能工巧匠只被认为是有才能的人，他们的才能还没有总结成为学问，所以当时的科学技术体系如表 2-3

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：92.

所示。

表 2-3

<table>
<tr><td rowspan="2">马克思主义哲学</td><td>自然科学</td></tr>
<tr><td>社会科学</td></tr>
</table>

20 世纪初，科学技术的体系中没有技术科学这一大类，因为它尚在建立之中。那时数学也只是作为自然科学的一个部门，没有划分出来，数学似乎为自然科学所独有。所以在 20 世纪初，科学技术的体系如表 2-4 所示。

表 2-4

<table>
<tr><td rowspan="2">马克思主义哲学</td><td>自然辩证法</td><td>自然科学</td><td>工程技术</td></tr>
<tr><td>历史唯物主义</td><td>社会科学</td><td></td></tr>
</table>

20 世纪 80 年代，数学成为一个独立的部门，它广泛应用于自然科学与社会科学。技术科学也发展为科学纵向划分的一个环节，于是科学技术体系增加为六个组成部分：其中概括一切的是哲学，哲学通过自然辩证法和历史唯物主义（社会辩证法）这两个桥梁和自然科学、数学科学和社会科学相连接。自然科学研究自然界，社会科学研究人类社会，数学科学则是自然科学和社会科学都要用的学问。介乎这三大类学科和改造客观世界的工程技术之间的是技术科学，它是针对工程技术中带普遍性的问题，即普遍出现于几门工程技术专业中的问题，统一处理而形成的，如流体力学、固体力学、电子学、计算机科学、运筹学、控制论等。在工程技术问题中新兴的一大类是各门系统工程。因此，科学技术体系如表 2-5 所示。

表 2-5

<table>
<tr><td rowspan="3">马克思主义哲学</td><td rowspan="2">自然辩证法</td><td>自然科学</td><td rowspan="3">技术科学</td><td rowspan="3">工程技术</td></tr>
<tr><td>数学</td></tr>
<tr><td>历史文物中</td><td>社会科学</td></tr>
</table>

2.3.2　钱学森根据现代科学技术的新发展提出新学科

20 世纪以来，一系列新的学科兴起或即将兴起，它必将突破现在的科学技术体系，钱学森面对现代科学技术发展新形势，从战略科学家的高度，提出现代科学技术体系的新学科，指出现代科学发展的新动向。

1981 年，钱学森发表《系统科学、思维科学与人体科学》一文[①]，提出在现代科学技术发展的新形势下，必须考虑三个新的、正在形成的大部门，即系统科学、思维

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：128.

科学和人体科学。

1. 系统科学的兴起

20 世纪 40 年代，普朗克与爱因斯坦科学革命之后酝酿着一场新的科学革命，它以贝特朗菲提出的“一般系统论”为标志，从此“系统”的观点与方法迅速上升为新的科学研究范式。新范式根本的变革在于：用生命科学的整体论观点与有机论方法，克服物质科学的机械论观点与还原论方法所造成的科学技术发展的障碍。

钱学森指出，一般系统论的重要成果之一是：它把生物和生命现象的有序性和目的性同系统的结构稳定性联系起来：有序，因为只有这样才使系统结构稳定；有目的，因为系统要走向最稳定的系统结构。目的性概念当然与控制论有关。但是，由于生物和生命现象的高度复杂性，一般系统论遇到的困难很大，几十年来，基本上处于概念的阐发，至于具体理论和定量结果还很少。

20 世纪 60 年代后，系统的基础理论研究有了很大发展，如普利高津的耗散结构论，它证明：在远离平衡态的条件下，系统自己走向有序结构。从而使一般系统论的有序结构稳定性有了严密的理论根据，但它只是从宏观研究问题，还需要从微观考察全系统的运动。而哈肯的协同学就是用从微观过渡到宏观的方法（统计方法）来研究系统的行为的，他证明：关键不在于热力学平衡还是不平衡，也不在于离平衡有多远，而在于系统的微观运动可以用一大组联立一阶时间导数的常微分方程来表达。此外还有托姆的突变论、艾根的超循环理论，等等。

钱学森并不满足于学习和借鉴这些成果。他认为：国外关于系统理论的研究，一方面还在发展；另一方面我们也不能把它归结为仅仅是这几种，更重要的是必须有我们自己的研究工作，这就是他要建立的系统学——系统的基础理论科学。钱学森指出，系统学的建立和研究是现代科学技术进一步发展中的一个重点，并给出了如表 2-6 所示的系统科学的体系。

表 2-6

哲学	桥梁	基础科学	技术科学	工程技术	科学部门
马克思主义哲学	系统观	系统学	运筹学 控制论 信息论	各门系统工程 自动化技术 通信技术	系统科学

2. 思维科学的创建

20 世纪 40 年代，电子计算机的发明引起一场新的技术革命，“它预示着更重

大的变革，思维科学的出现。"[①]这门科学主要是由计算机的智能问题产生的，围绕提高计算机的功能，开展了人工智能、认知科学、神经生理学和心理学的研究，研究的领域大大超出了数理逻辑的范围，涉及人的全部思维。

钱学森认为[②]，思维科学是专门研究人的有意识的思维的，它包括两大类：一类叫逻辑思维，或抽象思维，一类叫形象思维。到目前为止，我们仅对逻辑思维有了比较系统的研究，总结出了它的规律——逻辑学；而形象思维则研究得很不够。但除此之外，还应该有一类，可称为创造性思维，这样，思维科学的体系便是：

基础科学包括逻辑学、形象思维学、灵感思维学；

工程技术包括语言学、文字学、密码学、人工智能、计算机软件技术、图像识别技术等；

至于思维科学的技术科学，现在还不清楚究竟有多少门。

钱学森提出发展思维科学，其重大和深远意义在于：它将普遍地极大地提高人的创造能力。他给出了如表 2-7 所示的思维科学的体系。

表 2-7

哲学	桥梁	基础科学	技术科学	工程技术	科学部门
马克思主义哲学	认识论	抽象(逻辑)思维学 形象(直感)思维学 灵感(顿悟)思维学 信息学	模式识别 科学方法	人工智能等	思维科学

3. 人体科学的提出

三百多年来物质科学技术的发展，在人类历史上带来了辉煌的物质文明，相对而言，精神领域的研究、特别是人体科学的研究则大大滞后，出现了空前严重的精神与物质分离的危机。必须进一步深入地探索精神与物质的关系、意识与大脑的关系，把由于物质科学技术的发展而失去的宝贵的文化遗产，在马克思主义哲学指导下，用现代科学技术挖掘出来，使人类走上健康发展的大道。

钱学森提出的人体科学，是"研究人体的功能，如何保护人体的功能，并进一步发展人体的潜在的功能，发挥人的潜力"[③]的，它虽然古已有之，但在现代科学技术发展面临严重危机的形势下有了新的方向，这就是把人作为一个整体，把人放在整

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：121.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：132～135.

③ 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：135.

个社会、整个宇宙中去研究[1]。

首先，必须明确人体科学与生物科学有重要的区别：人有意识，有文化，人的意识支配着、控制着人体的整体活动，控制着人体不同系统之间的关系以及不同层次之间的关系，掌握着它们之间的平衡，造成了人类的物质文明与精神文明；而生物虽然有意识，但没有认识世界、改造世界的能力，也就没有文化。百年来生物科学虽然有了飞速的发展，但它囿于还原论与实证论的束缚，所以不能把人体科学归属于生物科学。

人体科学是一门崭新的科学。中医理论是人体科学的先驱，它把人的生命运动放在自然、社会、历史这个大系统中考察，采取综合的、整体论的方法去研究人的生命运动。但是缺乏深入的、细致的、具体的分析。西医理论重解剖、重分析、重实验，在细节上它更具体、更细致，但是它受还原论的局限，缺乏生成论的整体观。因此，钱学森提出，“还原论是不行的，但是不要还原论去考虑整体也不行；西方的东西，大概还原论的观点是比较多的，而中国古代的东西整体观是比较多的。任何一个方面都有片面性，一定要综合，用辩证法。”[2]在吸取西医学的成果时，钱学森特别强调，必须坚持中医学的特色、发扬中医学的优势，在西医学的基础上，继承与弘扬中医学的优秀遗产，建立人体科学这一现代科学技术的大部门。他给出了如表2-8所示的人体科学的体系。

表 2-8

哲学	桥梁	基础科学	技术科学	工程技术	科学部门
马克思主义哲学	人天观	生理学 心理学 脑神经学 精神学	病理学 药理学 免疫学 人机功效学	内科学 外科学 老年病学 劳动卫生学 人机工程	人体科学

2.3.3 钱学森根据社会发展的新情况对科学进行新的整合

从18世纪末工业革命兴起以来，科学、技术与社会的互动日益频繁，日益加强，出现了科学技术的社会化和社会的科学技术化，科学技术渗透到社会、经济、文化、教育等方面，于是，随着社会发展需要的科学进行新的整合，下列几个科学部门引起了钱学森的关注。

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：163.

② 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：157.

1. 文学艺术

马克思主义认为，文学艺术是社会主义精神文明的重要部分，它为物质文明的发展提供精神动力和智力支持、为社会的正确发展方向提供有力的思想保证。钱学森认为：人类的智慧有"性智"与"量智"两方面，二者综合为大成智慧；"性智"是从整体感受入手去理解事物；"量智"主要是科学技术，科学技术总是从局部到整体，从研究量变到质变，所以科学技术也有"性智"。因此，现代科学技术体系应该包括文学艺术，二者是双向互动的：一方面二者有区别，文艺作品不是科学，研究文艺的文艺理论才是科学；另一方面二者有联系，表现在文学艺术为科学提供形象、提供灵感，而科学技术则为文艺提供新的表现手段。

在钱学森创建的现代科学技术体系中，"美学是文学艺术的基本原则，是文学艺术到马克思主义哲学的桥梁。"[①]文学艺术分成六大部门：小说杂文、诗词歌赋、建筑艺术、书画造型艺术、音乐、综合艺术（包括戏剧、电影、舞蹈和歌剧类——各剧种、相声、说唱）。

2. 军事科学技术

军事科学技术自有史以来就是一个非常重要的部门。实现国防现代化，就要实现军事手段的现代化和军事科学的现代化。军事科学技术要反映现代科学技术对军事领域广泛而深刻的影响，要围绕"打得赢"、"不变质"两大历史性课题，创新军事科学理论，加速军事科研成果向军队战斗力的转化。

钱学森在军事科学体系建设、军事科学研究方法的革新，以及军事科学前沿课题（未来战争模式）等方面所作的开创性研究，目的就是要把现代科学技术成果注入军事科学领域，使军事科学在体系上、方法上、内容上现代化，从而更有效地推动军事科学发展，促进军事科学应用于军事实践。

在军事科学技术体系中，钱学森强调要充分利用现代科学技术的新成果（特别是运筹学和电子计算机的发展），来帮助搞好新武器研制、参谋业务、组织指挥、后期业务和军事学研究[②]。要建设一门与军事直接有关的军事系统工程。

军事科学技术的体系结构如表 2-9 所示。[③]

---

① 钱学森.科学的艺术与艺术的科学.北京：人民出版社，1994：101.

② 钱学森，等.论系统工程.长沙：湖南科学技术出版社，1982：41.

③ 钱学森.社会主义现代化建设的科学和系统工程.吴义生编.北京：中共中央党校出版社，1987：188，189.

表 2-9

哲学	桥梁	基础科学	技术科学	工程技术
马克思主义哲学	军事哲学	军事学 （战略学、战役学、战术学、军事指挥学、军制学等）	军事运筹学 （战略运筹学、作战指挥运筹学、完全装备建设运筹学、后勤运筹学、军制运筹学等）	军事系统工程学 （国家安全系统工程、作战系统工程、组织系统工程、法规条令系统工程、武器装备建设系统工程、指挥自动化系统工程等）

3. 行为科学技术

行为科学产生于 20 世纪 20～30 年代企业管理工作的实践，早期称“人际关系学说”，在 1949 年美国芝加哥的一次跨学科的科学会议上才正式被命名为行为科学。行为科学的产生是生产力和社会矛盾发展到一定阶段的必然结果，也是管理思想发展的必然结果。行为科学在国际国内产生了越来越大的影响，改革开放伊始传入我国，很快就风靡企业界并受到理论工作者的密切关注。

改革开放后，企业管理越来越成为经济发展的一个重要问题。1985 年 1 月中国行为科学学会正式成立，这标志着我国行为科学的研究和应用进入了一个新的阶段。适应时代的需要钱学森提出创建中国特色的行为科学，要求以马克思主义哲学去指导行为科学的研究①。他认为行为科学研究的核心问题是：个人行为与社会发展之间的矛盾运动。因此，为了国家和集体的利益管好人，就必须把管理、伦理和法理三者统一起来。钱学森第一次提出行为科学的基础科学应该包括伦理学和法学，这就为行为科学的研究拓宽了视野，并把行为科学列为现代科学技术九大部门之一。

在现代科学技术体系结构中，行为科学也是三个层次，一个桥梁，这个桥梁“是人与社会相互作用的一些最基本的规律”②，它的体系结构如表 2-10 所示。

4. 地理科学技术

地理学按照康德的观点是空间的科学，它的核心是人地关系③。20 世纪 50 年代后随着全球生态危机日益严重，兴起了环境科学，它的主要任务是④：探索全球范围内环境演化的规律；揭示人类活动同自然生态之间的关系；探索环境变化对人

① 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：169～173.

② 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：5.

③ 马蔼乃. 地理科学导论. 北京：高等教育出版社，2005：58.

④ 中国大百科全书（环境科学卷）. 北京：中国大百科全书出版社，1983.

表 2-10

<table>
<tr><td colspan="21">马克思主义哲学</td></tr>
<tr><td colspan="21">人学</td></tr>
<tr><td colspan="21">伦理学　法制史学　法理学　法律思想史</td></tr>
<tr><td>社会心理学</td><td>人才学</td><td>德育学</td><td>立法学</td><td>司法组织学</td><td>司法统计学</td><td>比较法学</td><td>国家法学</td><td>经济法学</td><td>知识法学</td><td>民法学</td><td>行政法学</td><td>财政法学</td><td>劳动法学</td><td>诉讼法学</td><td>国际法学</td><td>刑法学</td><td>法医学</td><td>刑事证据学</td><td>犯罪心理学</td><td>劳动改造学</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">管理技术
人才系统工程
思想政治
社会工程</td><td>国家法</td><td>经济法</td><td>科技法</td><td>民法</td><td>行政法</td><td>财政法</td><td>劳动法</td><td>环境保护法</td><td>军事法</td><td>太空法</td><td>国际法</td><td>刑法</td><td>诉讼法</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">法制系统工程</td><td colspan="6">法治系统工程</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

类生存的影响。1987 年钱学森明确指出，“环境”这一概念指的就是“地球表层这个统一的巨系统”[①]，它包括非生物、生物和人，这“是和人最直接有关系的那部分地球环境”[②]；“地理科学研究的对象就是地球表层。”[②]这是一门“跨地理学、地质学、气象学、工农业生产技术、技术经济学和国土经济学的新学科”[③]，它反映了现代科学技术不断综合、不断深化的趋势。钱学森高瞻远瞩提出创建地理科学，将它列为现代科学技术的一大门类。钱学森这一原创性的倡议，不仅极大地丰富与发展了地理学，而且为这个领域的研究指出了新的方向，这主要表现在：首先，地理学中的“地”是指从有原始人以来人类生存的地理环境。而地理科学中的“地”则是指人类生产与生活能够作用到的地球陆地与海洋表面以上和表面以下的空间，即“地球表层”；其次，地理学研究“人地”的关系，由于现代科学技术的发展，地理科学研究“天地人机”的关系；再次，在现代科学技术体系中，地理科学与自然科学、社会科学的研究对象主要是客体，而人体科学、思维科学与行为科学的研究对象主要是主体。

在钱学森创建的现代科学技术体系中，地理科学也是包括三个层次，其结构如表 2-11[④]所示。

---

① 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：248.

② 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：13.

③ 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：245.

④ 马霭乃. 地理科学导论. 北京：高等教育出版社，2005：第四章“地理科学层次”.

表 2-11

哲学	桥梁	基础科学	技术科学	工程技术
马克思主义哲学	地理哲学	地球表层学	生态经济学	环境保护、城市规划
		地理的复杂系统理论	外层空间信息网络系统	人口子系统、城镇子系统、基建子系统
		地理现象的相似理论	地理信息网络系统	产业子系统、生态子系统、资源子系统
		地理的区域信息模型	天地信息网络系统	环境子系统、灾害子系统
		地理的时序信息模型		

5. 建筑科学技术

1996 年以前，钱学森构想的现代科学技术体系一直是把建筑包括在文学艺术之中。

1996 年 6 月 12 日钱学森对建筑科学有了新的认识，提出："我想到可能要确立一门新的科学技术——建筑科学，这是现代科学技术体系中的第十一个大部门，是融合科学与艺术的大部门。"[①]他认为，建筑是科学的艺术，艺术的科学。在社会主义现代化进程中，中国要有新时代的建筑，新时代的城市，不能跟着洋人跑，也不能迷于中国古代皇宫、富家园林、北京四合院、江南水居[②]。

按照上述思路，钱学森把园林学、城市学、山水城市与建筑学整合为建筑科学，从宏观与微观相结合的视角，研究建筑问题，这是钱学森探索现代科学技术体系过程中的一大飞跃，它对中国发展面临的人居环境问题有十分重要的意义。建筑科学的体系如表 2-12 所示。

表 2-12

哲学	桥梁	基础科学	技术科学	工程技术	科学部门
马克思主义哲学	建筑哲学	建筑学	园林学 城市学 山水城市	城市规划 园林设计	建筑科学

建筑科学的提出，引起学界的热烈反响与积极支持，这主要是由于两方面原因：

① 居室及工作环境与人们的日常生活息息相关，而地理环境却不是所有的人

① 钱学森书信(10 集). 北京：国防工业出版社，2007：89.

② 钱学森书信(10 集). 北京：国防工业出版社，2007：133.

都有切身体会的。

② 地理科学只是自然科学与社会科学的交叉结合，而建筑科学则是自然科学、社会科学和美术艺术的交叉结合，它更复杂高超[①]！

至此，钱学森向我们提供了现代科学技术体系的清晰的系统结构：纵向的层次结构和横向的部门结构，如图 2-1 所示。

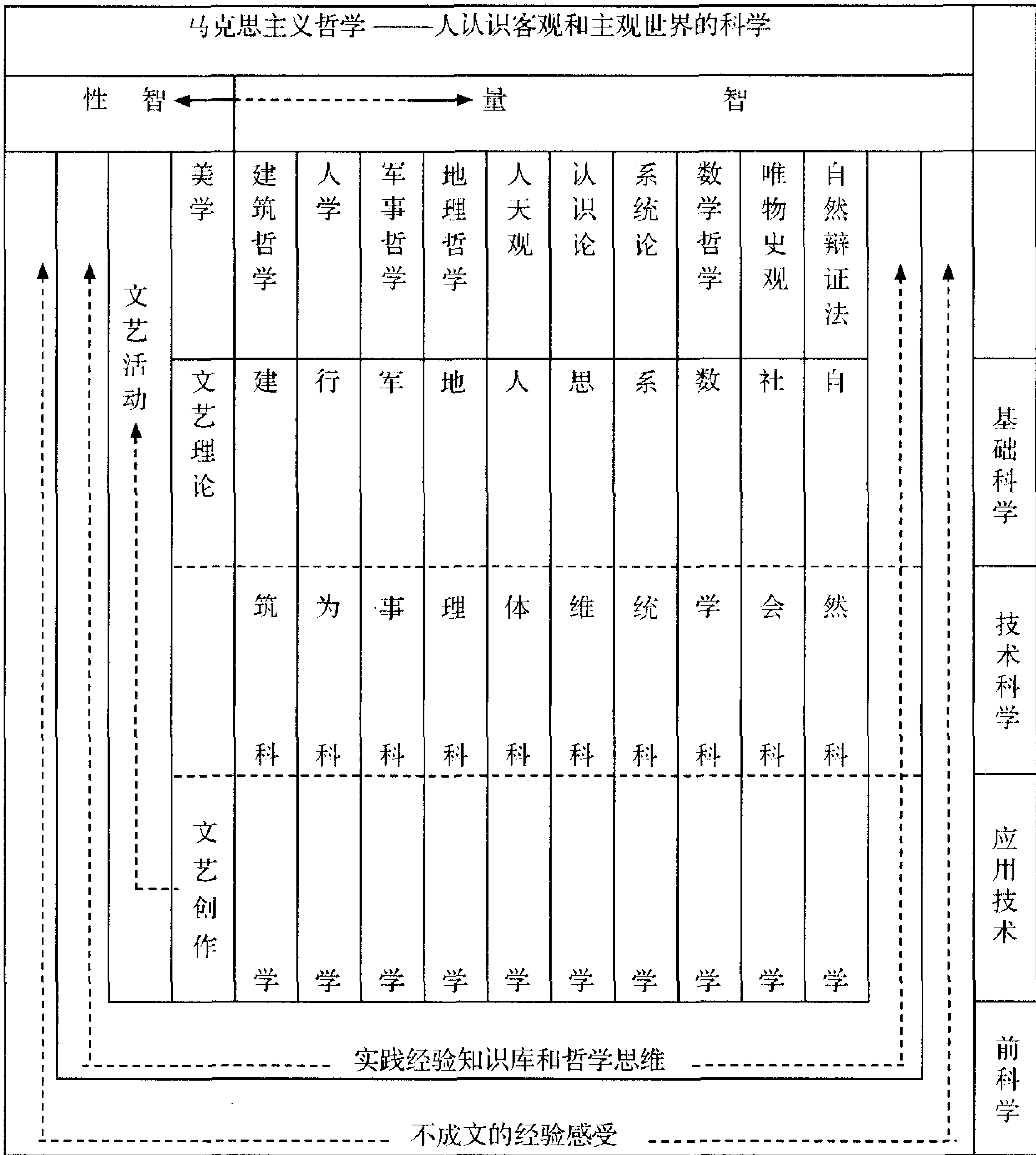


图 2-1

这是钱学森以马克思主义哲学为指导，运用矛盾论、实践论、系统论的观点，创造性地提出的现代科学技术体系结构。它揭示了现代科学技术发展的整体状况，其内容几乎囊括了人类认识世界、改造世界的全部知识。钱学森建立的现代科学技术体系，是一个开放的、复杂的"现代科学技术体系"，它为我们提供了一幅科学

① 钱学森书信(10 集). 北京：国防工业出版社，2007：201.

技术发展的总蓝图，为贯彻落实科教兴国战略思想提供了重要的理论依据。在发展科学技术和应用科学技术时，我们要充分发挥这个体系的综合优势和整体力量，特别是各个科学技术部门之间的相互联系、相互补充与相互促进的作用，提高我们认识世界的水平和改造世界的能力。我国正在实施科教兴国战略，这里的“科”应理解为现代科学技术体系，我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义。

参考文献

北京大学现代科学与哲学研究中心. 钱学森与现代科学技术. 北京：人民出版社，2001.
马蔼乃. 地理科学导论. 北京：高等教育出版社，2005.
马克思恩格斯全集(19 卷). 北京：人民出版社，1977.
马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971.
马克思恩格斯选集(4 卷). 北京：人民出版社，1977.
钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982.
钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007.
钱学森. 科学的艺术与艺术的科学. 北京：人民出版社，1994.
钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007.
钱学森. 关于思维科学. 上海：上海人民出版社，1986.
钱学森. 基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导. 哲学研究，1989.
钱学森. 论技术科学. 科学通报，1957.
钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996.
钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987.
许良英，范岱年. 爱因斯坦文集. 北京：商务印书馆，1976.
中国大百科全书(环境科学卷). 北京：中国大百科全书出版社，1983.

第三章　钱体系对社会主义现代化建设的重要意义

1991 年 10 月钱学森在中共中央、国务院授予他“国家杰出贡献科学家”授奖会上的讲话中说：“我认为今天的科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而是人认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系，这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系，而且运用这个科学体系去解决我们中国社会主义建设中的问题。……我在今后的余生中就想促进这件事情。”[①]在这么隆重的场合做这样的表态，表明现代科学技术体系问题在钱学森心目中的重要地位，它绝不是单纯的学术问题而是同中国社会主义建设密切相关的重大问题。

1991 年 11 月，钱学森在中组部、中宣部、中国科协、中直机关工委、国家机关工委联合举办的《九十年代科技发展与中国现代化》系列讲座上，作题为《我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义》的报告，进一步阐明了他致力于创建现代科学技术体系的长远考虑，就是要用现代科学技术更好、更快地建设中国特色的社会主义。

3.1　钱体系与社会主义现代化建设的总体设想

钱学森认为，“科学技术是第一生产力”，“这是一个非常重要的命题，我们要用马克思主义哲学的辩证唯物主义和历史唯物主义来深化和发展这一理论，并以此来丰富历史唯物主义的哲学内容，它将引起社会科学领域的一场科学革命。”[②]为此，他从社会主义现代化建设的全局出发，利用现代科学技术体系，特别是系统科学与系统工程，从理论与实践的结合上论述了我们时代的重大课题——“中国社会主义现代化建设的科学和系统工程”，提出了关于社会主义现代化建设的总体结构，今将他的主要论点概述于下。

3.1.1　从系统的观点提出社会主义现代化建设的总体结构

马克思主义是关于人类社会发展的科学，社会发展实际上是社会形态的发展。关于“什么是社会形态?”的问题，马克思在《“政治经济学批判”序言》中认为，它是

---

① 钱学森. 感谢、怀念与心愿. 人民日报. 1991-10-17.

② 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：181.

生产力、生产关系、上层建筑和社会意识形式的总和①；并在《资本论》中指出：社会形态的发展是客观的，它"是一种自然历史过程。不管个人在主观上怎样超脱各种关系，他在社会意义上总是这些关系的产物。"②

钱学森把马克思主义关于"社会形态"的观点应用到社会主义现代化建设上，从系统的观点出发，进一步指出，为了全面落实和贯彻执行党的路线、方针、政策，必须将社会主义现代化建设的各个重要的方面加以系统化，为此，他提出一个十分重要的、全局性的问题：我国社会主义现代化建设的总体结构。

1. 首先是三个文明建设③

马克思主义的基本观点认为："社会形态是一定历史时期社会经济、政治和思想文化的总称，是一定历史阶段生产力和生产关系、经济基础和上层建筑的具体的、历史的统一。"④钱学森在这个基础上，进一步明确了"社会形态"概念的内涵，指出社会形态包括三个重要的方面，"分别叫做经济的社会形态、意识的社会形态、政治的社会形态。"③按照马克思主义的观点，在这三个方面中经济的社会形态是社会发展的基础。马克思的《资本论》就是以资本主义社会的经济形态为对象，研究它的经济运动的规律的⑤。

钱学森根据社会意识反映社会存在的原理，根据"一定的社会形态有一定的文明与之相适应"的原理，提出了三个文明建设的问题，这是马克思主义理论的深入发展⑥。他阐述如下：

① 三个文明建设的理论，是系统的、完整的、科学的理论体系，是我国社会主义现代化建设和改革开放的一个理论基础。

② 社会主义社会形态的三个重要方面对应着三个文明建设：经济的社会形态建设，即物质文明建设；政治的社会形态建设，即政治文明建设；意识的社会形态建设，即精神文明建设。

③ 社会主义社会形态的三个文明建设是系统的整体，它们互相联系、互相制约和互相作用，因而必须应用系统科学的理论与方法研究如何建设三个文明，研究如何使三个文明协调发展，以取得最好的整体效益。

④ 三个文明建设协调发展，才能互相促进，为此就必须加强社会主义政治文明建设，社会主义政治文明的本质与核心"是人民当家做主，真正享有各项公民权，

---

① 马克思恩格斯选集(2卷). 北京：人民出版社，1977：82.

② 马克思恩格斯全集(23卷). 北京：人民出版社，1966：12.

③ 中央组织部等五部委. 九十年代科技发展与中国现代化. 长沙：湖南科学技术出版社，1991：11.

④ 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：73.

⑤ 马克思恩格斯全集(23卷). 北京：人民出版社，1972：11.

⑥ 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：73～85.

享有管理国家和企业的权力。"[①]它包括民主建设、体制建设与法制建设三个部分[②]。

2. 其次是地理建设[③]

社会主义存在的客观环境是地理环境。社会的发展受地理环境的影响。从马克思主义哲学的观点看来,在人与自然的关系问题上,自然界是第一性的,自然界是人类"赖以生长的基础"[④]。因而除了三个文明的建设以外,还要加上地理环境建设。地理环境建设包括:环境保护和生态建设,这基本上指的是自然环境;基础设施的建设,如交通、铁路、水利、通信设施等的建设,这是人工环境。

社会主义现代化建设是一项伟大的社会系统工程,是有意识的人参加的,它是最复杂的、特殊的巨系统,在改革和开放的过程中,在体制和机制、政策和法制、规划和计划、发展战略、资源开发、环境保护、人口控制等方面,都提出了一系列问题,这些问题必须从社会主义现代化建设的总体结构上,从三个文明建设之间以及它们和地理建设相互配套和协调发展上,研究和探索问题的解决方案,才能真正地解决问题,这就必须采用科学的方法,钱体系的系统科学方法。

3.1.2 "科学-技术-产业-社会"四种革命与社会形态的飞跃

钱学森总结科学发展史与社会发展史,认为社会形态发展的规律是:"科学革命在先,然后导致技术革命,最后出现产业革命"[⑤],产业革命引起社会形态的飞跃。这个规律丰富与发展了马克思主义关于社会发展的观点:"科学技术是推动社会发展的革命力量"。钱体系根据现代科学技术革命的新形势,结合当代世界的发展,对这个规律作出了深入的论述。

在英国工业革命蓬蓬勃勃进行的时候,马克思洞察历史发展的新动向,第一次提出:科学是生产力,预见到科学"是一种在历史上起推动作用的、革命的力量。"[⑥]到19世纪后期,以电力科学领先,一系列高新技术的发展继后,推动自由资本主义向垄断资本主义发展,证实了马克思的预见。钱学森关于"科学-技术-产业-社会"革命与社会形态的飞跃的论述,丰富发展了这个观点。

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海:上海交通大学出版社,2007:83.
② 钱学森. 创建系统学. 上海:上海交通大学出版社,2007:171,172.
③ 钱学森. 创建系统学. 上海:上海交通大学出版社,2007:173.
④ 马克思恩格斯选集(4卷). 北京:人民出版社,1977:218.
⑤ 中央组织部等五部委. 九十年代科技发展与中国现代化. 长沙:湖南科学技术出版社,1991:9.
⑥ 马克思恩格斯选集(3卷). 北京:人民出版社,1977:575.

1. 关于科学革命

科学家公认，16～17 世纪哥白尼-牛顿的科学革命，是宇宙观、认识论、方法论的变革。爱因斯坦高度评价哥白尼与牛顿的成就。他说：哥白尼“对于西方摆脱教权统治和学术统治枷锁的精神解放所作的贡献几乎比谁都要大”[①]；牛顿是位杰出的天才，“在他以前和以后，都还没有人能像他那样地决定着西方的思想、研究和实践的方向。”[②]哥白尼-牛顿的科学革命对人类思想史、文明史、认识史的意义是无法估量的，所以钱学森说：“科学革命是人认识客观世界的飞跃”[③]。

2. 关于技术革命

马克思恩格斯关于技术革命对社会变革的影响多有论述，他们深刻地指出：

火药、指南针、印刷术“是预告资产阶级社会到来的三大发明。火药把骑士阶层炸得粉碎，指南针打开了世界市场并建立了殖民地，而印刷术则变成新教的工具，总的来说变成科学复兴的手段，变成对精神发展创造必要前提的最强大的杠杆。”[④]

机器和新的工具机“把工场手工业变成了现代的大工业，从而把资产阶级社会的整个基础革命化了。”[⑤]

手推磨“产生的是封建主为首的社会”，蒸汽磨“产生的是工业资本家为首的社会。”[⑥]

技术革命引起了社会的深刻变革，可从 18 世纪末、19 世纪初英国的工具机技术革命以及由之引发的工业革命得到最好的证明。在工业革命策源地英国，工具机的发明“是十八世纪工业革命的起点。”[⑦]纺织部门的技术进步把所有其余的部门也带动起来，于是发生了整个工业的革命：生产方法改变了，人们不是在家里工作，他们开始共同在一个工厂内工作，机器大生产代替了手工业生产，工业把劳动集中到工厂和城市里，[⑧]引起了生产方式的变革，这是“全社会整个物质资料生产体系的变革，”[③]使得英国经济腾飞，跃居世界首位。所以钱学森说：“技术革命是人改造客观世界技术的飞跃”[③]。

---

① 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集. 北京：商务印书馆，1976：601.

② 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集. 北京：商务印书馆，1976：222.

③ 中央组织部等五部委. 九十年代科技发展与中国现代化. 长沙：湖南科学技术出版社，1991：9.

④ 马克思恩格斯全集(47 卷). 北京：人民出版社，1979：427.

⑤ 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971：285.

⑥ 马克思恩格斯选集(1 卷). 北京：人民出版社，1976：108.

⑦ 马克思恩格斯全集(23 卷). 北京：人民出版社，1966：410.

⑧ 马克思恩格斯全集(1 卷). 北京：人民出版社，1966：670，676.

3. 关于产业革命

恩格斯指出：蒸汽机和棉花加工机的发明推动了产业革命，产业革命同时又引起了英国社会的全面变革①。这就是说，产业革命既是生产技术的巨大革命，也是生产关系的深刻变革。产业革命是全局性的，不只是工业，还有农业、交通运输业，以至经济关系的变化。因此，钱学森说："产业革命是由技术革命引起的，它使得全社会整个物质资料生产体系发生深刻的变革。"

4. 关于科学革命、技术革命与产业革命的关系

钱学森从马克思主义观点出发，总结了科学技术发展及其对推动社会发展的伟大作用，指出了科学革命、技术革命与产业革命的关系，及其推动社会发展的巨大作用。钱学森的总结深化与发展了马克思主义的科学观、技术观及科学技术与社会发展的关系的观点。

3.2　钱体系关于科学技术是第一生产力的理论

邓小平根据现代科学技术革命与世界发展的新形势，把马克思主义的两个基本观点推向深入发展，明确提出：

"科学技术是第一生产力"的观点。邓小平认为，现在世界科学发展出现新的情况：科学技术领域的一个突破，带动一批产业的发展；发展经济必须依靠科学、技术和教育，科学技术不仅是生产力而且是第一生产力。

"社会主义的根本任务是发展生产力"的观点。邓小平指出：马克思主义的另一个名词就是共产主义。共产主义是什么？就是没有人剥削人的制度，产品极大丰富，各尽所能，按需分配，所以，社会主义阶段的最根本任务是发展生产力，社会主义的优越性就是体现在它的生产力要比资本主义发展得更高一些、更快一些。

钱学森认为：贯彻落实邓小平"建设有中国特色的社会主义"理论，"必须深化与发展科学技术是第一生产力的理论，充实、发展历史唯物主义。"②这是社会主义现代化建设极其重要的理论问题与实践问题。为此，钱学森进行了以下的理论探索。

3.2.1　科学技术是推动社会发展的革命力量

第一，科学技术与历史唯物主义基本原理。历史唯物主义的基本原理认为：生

---

① 马克思恩格斯全集(2卷). 北京：人民出版社，1965：281.

② 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：184.

产力发展推动社会形态发展，其过程为：

生产力→生产关系→与经济基础相适应的上层建筑以及社会意识形式

钱体系从科学技术的整体及其对社会的作用出发，深入地分析了“科学-技术-产业-社会”的相互联系与相互制约①，指出它们之间的关系是网络式、反馈式的关系，即其中一种革命的发生必然会引起另外一种革命，并且其自身也要受到其他类型革命的影响，如图 3-1 所示。

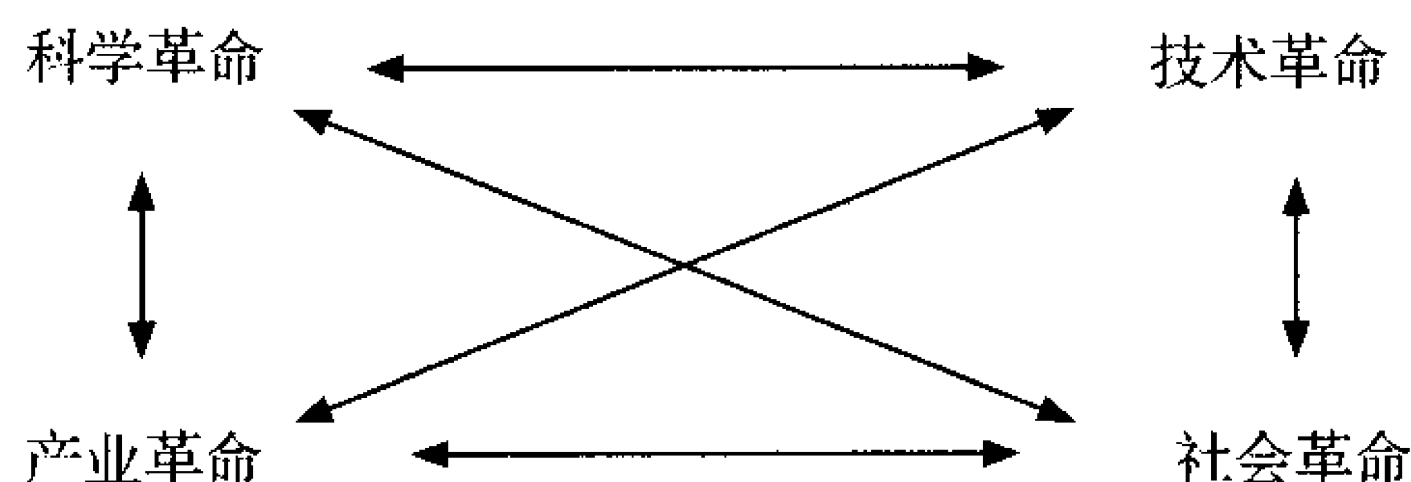


图 3-1

这就丰富与发展了历史唯物主义基本原理。

第二，科学技术革命与社会变革。钱学森在历史唯物主义指导下，概括总结国外学者在现代科学技术革命新形势下，对社会发展的未来作出的预测，提出他的七次产业革命的论述，深化与发展了马克思主义五种社会形态的学说。

3.2.2 科学技术革命与人类社会发展

18 世纪工业革命以来，人类社会发生了翻天覆地的变化，在短短的两百多年内，科学技术革命深刻地变革了人类的生产方式、生活方式与思想观念。美国的未来学家如贝尔、托夫勒、奈斯比特等，纷纷根据科学技术革命引发的社会变革作出预测，他们从产业革命的角度出发，把人类社会的历史发展划分为三个历史时期，即：

第一次农业革命——第二次工业革命——第三次信息革命

农业社会————工业社会————信息社会

他们用的名词虽然有所不同，但实际上是一致的，如表 3-1 所示。

表 3-1

贝尔	前工业社会	工业社会	后工业社会
托夫勒	第一次浪潮社会	第二次浪潮社会	第三次浪潮社会
奈斯比特	农业社会	工业社会	信息社会

钱学森从“科学技术是推动社会发展的革命力量”的观点出发，深入地考察科

① 中央组织部等五部委. 九十年代科技发展与中国现代化. 长沙：湖南科学技术出版社，1991：6～11.

学技术革命与人类社会发展的关系，提出了新的论点，并预言社会发展的未来趋向：

（1）第一次产业革命——农业革命

一万年前新石器时代，由于农耕技术的出现，人类从采集、狩猎为生发展到种植业、畜牧业，开始生产自己生存所必需的生活资料，这是人类"第一个历史活动"①。农业革命引起由原始公社到奴隶社会的社会革命。

（2）第二次产业革命——商业革命

奴隶制后期，由于农牧业与手工业的发展，有了剩余产品，出现了为交换而生产，也就出现了为交换服务的商业。商业革命加速了社会分化，导致奴隶社会到封建社会的社会革命。

（3）第三次产业革命——工业革命

18 世纪末在英国，首先是纺织部门工具机的革命，然后是动力机与传动机的革命，由此带动了一系列产业部门，产生了工业。工业为资本主义社会奠定了物质技术基础，资产阶级利用工业所创造出来的生产力，"比过去一切世代创造的全部生产力还要多，还要大。"②由此引起欧洲由封建社会向资本主义社会的过渡。

（4）第四次产业革命——服务业革命

19 世纪末，20 世纪初，西方工业发达国家出现了大规模、组织起来的大公司、跨国公司，生产、交换成为世界性的了。大公司的发展，一方面把自由资本主义推向垄断资本主义，原来是服务于交换的商业，发展为服务于生产-消费-分配-流通的服务业，它包括商业、金融保险业、交通运输业、通信业、电业、医疗卫生业、教育业、公用事业、娱乐业等。另一方面大公司向股份公司的转变，意味着私人资本向社会资本的转变，意味着生产资料的所有权和剩余劳动的所有权的分离，股份公司将成为"由资本主义生产方式转化为联合的生产方式的过渡形式。"③

（5）第五次产业革命——信息业革命

1946 年电子计算机的发明，掀起了一场以微电子、信息技术为基础，以计算机、网络和通信等为核心的信息革命。它使劳动的信息化、智能化程度大大提高，开创了人机结合的劳动体系，世界经济开始从工业经济进入了信息经济时代，知识与技术的密集型产业将成为创造社会财富的主要形式，产生了新型的产业——信息业。它包括：一是信息工业（计算机产业、微电子产业、通信产业）；二是信息服务业（新闻出版业、数据库业、信息咨询业、邮政业、电信服务业、教育业、网络产业等）；三是信息开发业（软件业、信息内容业）。信息业的兴起不仅改变了人们的生

① 马克思恩格斯全集（3 卷）. 北京：人民出版社，1965：31.

② 马克思恩格斯选集（1 卷）. 北京：人民出版社，1977：256.

③ 马克思恩格斯全集（25 卷）. 北京：人民出版社，1974：498.

产方式、学习方式、生活方式和娱乐方式，而且开创了人机结合的精神生产力，钱学森预言，它将有可能最终导致消灭体力与脑力劳动的差别。

(6) 第六次产业革命——大农业革命

1984 年，钱学森提出“第六次产业革命”，它是以现代生物技术为核心所引发的大农业革命。现代生物技术是以微生物、酶、细胞、基因工程为代表的生物工程，到 21 世纪它将发展成以动植物工程、药物和疫苗、蛋白质工程、细胞融合、基因重组等的生物工程产业。大农业革命就是由现代生物技术的产业化引起的，它实质上是以太阳能为能源，利用生物(动植物和菌类)、水和大气，通过农、林、草、畜、禽、菌、药、鱼，加上工、贸等途径，形成新的知识最密集的产业。这样发展起来的大农业(包括农产业、林产业、草产业、沙产业和海产业)，除生产的产品不同外，在生产方式上与工业已无实质上的差别，将可能最终导致消灭工业和农业、城市和农村的差别。

(7) 第七次产业革命——以人体科学为中心的产业革命

钱学森指出：人体科学的发展，渗透到各行各业，无疑将引发一场涉及人民体质建设的第七次产业革命。他认为，通过采用“从定性到定量综合集成法”，把中医、西医、民族医学、中西医结合、体育医学、民间偏方、气功、人体特异功能、电子治疗仪器等几千年来人民防病治病，健体强身的实践经验集成起来，总结出一套科学的、全面的现代医学，包括测试身体和查病的第一医学、辨证施治的第二医学、防病的第三医学、人体器官再造和补残缺的第四医学，以及提高人体功能的第五医学等。这样就可以真正科学地进行人民体质建设了。人民体质包括人的体力和智力，人民体质的提高，是人类历史上的第七次产业革命。

3.2.3　建立科学技术业是发展生产力的根本途径

1. 新的科学技术是新的生产力

工业生产力的崛起。18 世纪 70 年代，英国在工业科学技术革命的基础上，发生一场震撼世界的工业革命，在短短的两百多年内，变革了传统的农业生产力，形成了巨大的工业生产力，人类社会从此进入了工业化时代。

工业化时代生产力的发展可分为三个阶段，即：机械化阶段，它以 1776 年第一台瓦特蒸汽机的投产使用为标志；电气化阶段，它从 19 世纪 30 年代直流电机的产生和发展开始；自动化阶段，它开始于 1946 年第一台电子计算机的诞生，70 年代微型计算机在工业生产过程(设计、加工制造、试验等重要环节)中广泛使用，生产过程从机械化与自动化提高到自动化。

工业生产力是先进的生产力，工业成为竞争力与经济成长的关键。工业革命发源地英国，由于首先掌握了工业生产力，使其一跃而成为头等工业大国，把欧洲

带到世界历史舞台的中心。

信息生产力的兴起。20 世纪 40 年代，以信息科学技术革命为基础的美国，发生了又一场震撼世界的信息革命，把工业生产力变革为信息生产力，人类社会进入了信息化时代。

20 世纪 60～70 年代，信息技术接连发生了几个重大的突破：1968 年大规模集成电路的开发；1969 年创办了制造半导体的英特尔公司；1971 年研制出世界上最早的微型计算机（PC）；1970 年研制出光导纤维，开始了光电通信时代；1969 年计算机网络技术的开发，开始了以传真为基础的图像通信时代。工业经济向信息经济转型。

信息生产力是先进的生产力，信息业成为竞争力与经济成长的关键。信息革命发源地美国，由于首先掌握了信息生产力，信息业成为它的新的经济增长点，使得美国后来居上，成为独霸世界的头等大国。

2. 发展生产力必须大力发展新的科学技术

钱学森总结世界与中国发展的经验，认为中国要迎头赶上，必须发展现代科学技术。

20 世纪 80 年代后期，钱学森在分析世界形势时，就根据信息生产力的特点（生产工序专业化、生产组织灵活化、信息成为整个组织的中心环节、软科学与系统工程变成非常重要的学问、白领工人与蓝领工人的比例在上升），强调指出现代科学技术在经济社会发展中的极端重要性，认为没有现代科学技术就谈不上现代的生产力①。

90 年代初，面对科学技术在当代国际竞争中起决定性作用这一新的形势，钱学森深入地发展了"四个现代化，关键是科学技术现代化"的观点，创造性地提出：在国际竞争日趋激烈的形势下，社会主义现代化建设必须把科学技术摆到一个非常重要的位置上。为此，他向党中央建议："建立我国的一种第四产业——科学技术业，作为今天的一项重大的战略决策。"

钱学森的创见，后来得到了进一步发展。1998 年中国科学院根据创新型国家发展的需要，在《创新与未来》②一书中认为，当前我们正面临世界发展的新形势：一个以知识和信息为基础的、竞争与合作并存的全球化市场经济正在形成，人类的未来和国家的繁荣比以往任何时候都更加依赖于创造和应用知识的能力与效率。从国家发展的全局，从科学技术体制改革的角度，中国科学院提出了建设"国家创

---

① 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：52，53.

② 路甬祥. 创新与未来——面向知识经济时代的国家创新体系. 北京：科学出版社，1998.

新体系”，这实际上就是把科学技术业放在整个国家的体制建设中来考虑。“国家创新体系”的系统结构及其主要功能如下：

① 知识创新系统。各种科研机构与教育科研型大学。从事知识的生产、传播与转移。

② 技术创新系统。各种科研机构、教育培训机构与企业。学习、革新、创造和传播新技术。

③ 知识传播系统。高等教育系统、职业培训系统。传播知识，培养人才。

④ 知识应用系统。社会、企业、政府部门、科研机构。知识和技术的实际应用。

其中，特别强调建设“国家创新体系”的根本保证，是培养和造就大批具有创新意识和创新能力的高素质科技人才。

3.3 钱体系创建组织管理社会主义现代化建设的科学方法

3.3.1 社会系统工程是历史唯物主义的发展

钱学森认为，建设有中国特色的社会主义是一项史无前例的、伟大的社会系统工程，开始时只能“摸着石头过河”，逐步积累经验。但是要建设社会主义，要在新中国成立一百周年的时候使我们的国家达到世界先进水平，还有一段好长的路，老在“摸着石头过河”那可不行，为了不犯错误，或者尽量地少犯错误，不要犯大错误，必须有科学预见，这个科学是什么？就是系统科学[①]。

当前，我们正在进行的社会主义现代化建设，是一场根本改变我国经济和技术落后面貌的伟大革命，这场革命要求改革不适应生产力发展水平的上层建筑，为了完成这一艰巨的、伟大的历史任务，必须有组织管理社会主义现代化建设的科学方法。钱学森把这个科学方法叫做社会工程，它“是综合了近一百多年来马克思主义的社会科学发展成果，综合了近半个世纪自然科学技术发展成果，并吸取了近二十多年电子计算机发展成果才成立的。”[②]

钱学森创建的社会系统工程（简称社会工程），就是在历史唯物主义指导下，把自然科学技术与社会科学技术结合，开创的哲学、自然科学与社会科学交叉的科学方法，这是历史唯物主义的发展。社会工程就是组织管理“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是对自然和社会都普遍适用的科学方法。社会工程与自然工程的区别在于：它设计的不是产品，而是制度、体制、方案、规划。

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：10，11.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：18.

钱学森十分关心干部教育，从 1979 年以来多次到中央党校报告，强调指出：我国"社会主义现代化建设"是一项认识世界和改造世界的复杂、艰巨而伟大的社会系统工程。组织和实施这项伟大的社会工程，要求各级党政干部具备马列主义理论修养，丰富的实践经验，掌握现代科学技术知识，学会现代化的预测、组织、管理、决策和领导的科学方法，也就是社会系统工程方法。社会工程对广大干部开阔眼界，增长知识，掌握科学方法，提高领导水平，会起到重要作用。要培养成千上万的组织管理人员，他们的培养要在综合性社会科学高等院校，像中国人民大学。

3.3.2　社会工程的主要内容①

社会工程的对象是整个社会、整个国家，是社会和国家的组织管理的科学方法。

社会工程的前提是社会和国家的目标，是党和国家所规定的一个历史时期的方针和任务，以及由此制定的政策、组织原则和法规。

社会工程的任务是以党和国家规定的方针政策为依据：设计出一个好、快、省的全国长远规划，提供给党和国家领导审查；在执行过程中，根据出现的不平衡，积极组织新的相对的平衡；总结实践经验，向党和国家领导提出改善生产关系和上层建筑的建议；根据计划执行情况和形势的发展，提出调整计划的意见。

社会工程的基础科学是社会科学。由于经济是社会发展的基础，因此特别是政治经济学、部门经济学、专门经济学和技术经济学。

社会工程的工具是：情报网、情报资料数据库和电子计算机网。

社会工程的技术科学是：系统论、信息论、控制论与运筹学。

由上述可见，社会工程可以解决的问题涉及改造社会，提高社会生产力，提高国防力量，改造各种社会活动，直到改造我们国家的行政、法治等。一句话，涉及整个社会。所以，社会工程是一项伟大的创新，整个社会面貌将会有一个大改变②，社会工程的发展是一项新的技术革命。

3.3.3　社会工程的科学方法

从马克思主义的观点看来，改造社会的工程是"造社会物"(社会存在是客观的"物")。改造自然的工程是"造自然物"(物质存在是客观的"物")。两种工程造的"物"虽然不同，但工程的认识论、方法论是同样的，都需要在实践论与矛盾论的指导下，应用现代科学技术的认识论、方法论，应用系统工程。"系统工程就是从系统

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：15.

② 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：218.

的认识出发，设计和实施一个整体，以求达到我们所希望得到的效果。"①

钱学森认为，在全部认识客观世界改造客观世界的学问中，现代科学技术体系是非常重要的组成部分，体系中的学问不是彼此孤立的，不是所谓"隔行如隔山"，而是相互联系、相互融合与相互贯通的。以马克思主义哲学为指导的现代科学技术体系是"学习掌握认识客观世界改造客观世界的锐利工具。"②

1. 社会工程的认识过程

从钱体系现代科学技术认识的三个层次看来，社会工程的认识过程是：

社会科学原理是基础-社会技术是中介-社会工程技术是实施

这就是说，社会工程师"要像工程师设计一个新的建筑一样，科学地设计和改造我们的客观世界。"③

2. 社会工程的思维方法

钱学森把经典科学从定性到定量的方法发展为从定性到定量综合集成方法，即：

形象思维-假设-逻辑推理、数学演算-科学实验

这在方法论上是重大的突破，钱学森的发展包括三个部分。第一个是专家系统，也就是我们讲的智库，而不是单个的科学家或单个的技术专家。在传统的科学研究中，一个专家根据自己的专业来处理问题。现在不行了，碰到那么复杂的问题，光靠一个人的知识与经验是不行的，所以从定性到定量综合集成方法的第一个部分就是专家系统。第二个就是把理论知识、经验知识、各种知识都收罗进来的信息库，这样就便于从汪洋大海的信息中检索到所需的知识。第三个是电子计算机体系，我们国家现在已经有每秒 1000 万亿的计算机，可以处理规模庞大的计算量。

从定性到定量综合集成方法的要点如下：

① 人机结合、以人为主，充分利用计算机处理信息的能力，发挥人特有的智慧，实现信息与知识的综合集成。

② 通过人机交互、反复对比、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，从而能对经验性假设的正确性做出明确的结论。

③ 社会心理学的方法。因为人的思想意识对改革的反应，及其对改革的影响，是改革过程中必须考虑的因素。

---

① 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：211.

② 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：18.

③ 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：28.

3. 综合集成研讨厅

它是运用综合集成思维方法的组织形式，由下列三个部分组成，并按照系统原理组织和进行：知识体系，包括各种科学理论、专家经验、情报资料、统计数据、常识性知识；工具体系，以计算机为核心的多种高新技术的集成与融合所构成的机器体系；专家体系。

这三个体系构成高度智能化的人机结合体系，它不仅具有知识与信息采集、存储、传递、调用、分析与综合的功能，更重要的是具有产生新知识和智慧的功能，既可用来研究理论问题，又可用来解决实际问题。

4. 社会工程的设计与实施

系统工程方法为社会工程的设计与实施，提供理论依据、设计方法与实施程序。它的基本方法及采取的相应的步骤如下：

系统建模-系统仿真-系统分析-系统设计-系统优化

3.3.4 社会工程的基本内容

按照系统的观点，结构与功能是密切联系的，从社会主义现代化建设的总体结构出发，可以把国家的组织管理功能分为八个方面，这八大功能协调，国家的发展就正常、健康、可持续。社会主义国家的八大功能[①]是：

(1) 物质财富的生产

这是国家功能的根本。没有物质财富的生产，人民无法生活，因此，它也是国家的基础。我们党一直抓“以经济建设为中心”。

(2) 精神财富的创造

党中央认为：“物质文明为精神文明的发展提供物质条件和实践经验，精神文明又为物质文明的发展提供精神动力和智力支持，为它的正确发展方向提供有力的思想保证。”[②]所以，社会主义精神财富的创造，是关系社会主义兴衰成败的大事。精神财富的创造包括科学技术的研究，文学艺术的创作，书刊、报纸、编辑、出版、印刷业、影视业、教育事业、体育事业，以至于资料情报事业，还有图书馆、展览馆等。

(3) 服务工作

物质财富的生产和精神财富的创造，要有后勤保障工作也就是服务工作。它

① 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：32～45.

② 中共中央关于社会主义精神文明建设指导方针的决议. 北京：人民出版社，1986：2.

包括商业，公共事业（供水、供电、供热），交通事业（铁路、公路、水路、民用航空、邮电、通信），人民生活服务（城市建设、卫生、医疗、住房、饮食业、修理业和其他服务行业）。没有服务工作，国家的其他功能就无法发挥。社会主义国家的服务事业，其根本任务就是要对我们国家的每一个公民的生、老、病、死负全责。

（4）行政管理

在社会主义现代化建设的进程中，行政管理机构一方面要随着情况的变化、经验的积累和工作效率的改进，及时作出调整，另一方面又要注意保持一定的稳定性。为此，需要设立一个国家体制的研究设计单位，如国家体改委，经常研究这个问题，并及时地推出建议和方案。

（5）法制体系

依法治国，必须建立健全的法制体系，包括法律、立法机构和执法机构，各级公安部门、检察院、法院。首先，法制体系的最高层是国家的宪法。其次，我们党是执政党，党章自然也是一个根本大法。下一个层次是全国各部门通用的刑法、民法、经济法、婚姻法等。再下一个层次是部门的法规，像专利法等。再下一个层次是部门的法令、条例、命令等。

（6）国际交往

这是多方面的，除了政治交往，还有经济、贸易、科学技术、文化方面的交往；有友好访问、旅游等，它们是互相联系，交织在一起的。应该大大地加强组织管理，提高工作效率，避免互相脱节。要有一个专门机构，负责搞好各方面的协同。

（7）国防事业

它包括军队，即陆军、海军、空军等兵种，国防科学技术的研究机构，国防工业和军队院校。要发扬光荣传统，在国防现代化中，正规化、革命化的人民军队发挥更大的作用。

（8）国家的环境管理

它包括生态平衡、环境保护、地质、气象、地震、海洋以及废旧物资的回收利用。我国有960万平方公里的陆地和附近的海域，还有下至几公里的地壳，上至几十公里的大气层，要吸取世界各国的经验教训，结合我们自己的实践，用马克思主义、毛泽东思想来制定我国的环境政策。对于回收废旧物资和三废处理，要重视它的开发利用，这是一项复杂的环境系统工程技术。

由上述可见，八项社会工程的实施涉及改造社会，提高社会生产力，提高国防力量，改造各种社会活动，一句话，涉及整个社会。所以，“系统工程是一项伟大的创新，整个社会面貌将会有一个大改变。”[①]系统工程的发展是一项新的技术革命。

---

① 钱学森.社会主义现代化建设的科学和系统工程.吴义生编.北京:中共中央党校出版社,1987:218.

3.3.5　社会工程的科学体系

按照现代科学技术认识发展规律，钱学森把社会工程的科学体系划分为如下的三个层次，即：组织管理国家的基础科学-组织管理国家的技术科学-组织管理国家的工程技术。详情如表 3-2 所示[①]。

表 3-2

<table>
<tr><th>组织管理国家的基础科学</th><th>国家功能部门</th><th colspan="2">组织管理国家的技术科学</th><th>组织管理国家的工程技术</th></tr>
<tr><td rowspan="9">社会主义国家学</td><td>物质财富生产</td><td colspan="2">技术经济学
数量经济学
工业经济
农业经济、农事学</td><td>工程系统工程
企业系统工程
农业系统工程
……
计量系统工程
标准系统工程</td></tr>
<tr><td>精神财富创造</td><td>教育学
科学学
文艺学
体育学
情报学
新闻学
科普学
美育学</td><td>文化学</td><td>教育系统工程
科研系统工程
文艺系统工程
体育系统工程
情报系统工程
……</td></tr>
<tr><td>服务事业</td><td colspan="2">商学、运输科学等</td><td>各有关系统工程</td></tr>
<tr><td>行政</td><td colspan="2">行政学</td><td>行政系统工程</td></tr>
<tr><td>法制</td><td colspan="2">法学</td><td>法制系统工程</td></tr>
<tr><td>国际交往</td><td colspan="2">外交学
国际经济</td><td>……</td></tr>
<tr><td>国防</td><td colspan="2">军事科学</td><td>军事技术、军事系统工程</td></tr>
<tr><td>环境保护</td><td colspan="2">环境科学
……</td><td>环境保护系统工程</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="2">……</td><td>……</td></tr>
</table>

① 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：44.

参考文献

路甬祥. 创新与未来——面向知识经济时代的国家创新体系. 北京:科学出版社,1998.
马克思恩格斯全集(1卷). 北京:人民出版社,1966.
马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1971.
马克思恩格斯全集(23卷). 北京:人民出版社,1966.
马克思恩格斯全集(23卷). 北京:人民出版社,1972.
马克思恩格斯全集(25卷). 北京:人民出版社,1974.
马克思恩格斯全集(2卷). 北京:人民出版社,1965.
马克思恩格斯全集(3卷). 北京:人民出版社,1965.
马克思恩格斯全集(47卷). 北京:人民出版社,1979.
马克思恩格斯选集(1卷). 北京:人民出版社,1977.
马克思恩格斯选集(1卷). 北京:人民出版社,1976.
马克思恩格斯选集(2卷). 北京:人民出版社,1977.
马克思恩格斯选集(3卷). 北京:人民出版社,1977.
马克思恩格斯选集(4卷). 北京:人民出版社,1977.
钱学森,等. 论系统工程. 上海:上海交通大学出版社,2007.
钱学森. 创建系统学. 上海:上海交通大学出版社,2007.
钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京:中共中央党校出版社,1987.
许良英,范岱年. 爱因斯坦文集. 北京:商务印书馆,1976.
中共中央关于社会主义精神文明建设指导方针的决议. 北京:人民出版社,1986.
中央组织部等五部委. 九十年代科技发展与中国现代化. 长沙:湖南科学技术出版社,1991.

第二篇　钱体系与现代科学发展的整体化方向

第四章　近代科学在分门别类研究中取得巨大的成就

钱体系的认识论与方法论，是在批判分析近代科学的认识论与方法论的基础上，概括总结了现代科学技术认识的新成就，特别是系统科学发展的新成就创立起来的。因此，有必要阐明近代科学的认识论与方法论的形成与发展历程。

4.1　科学发展与哲学发展的关系

在创建现代科学技术体系的过程中，关于科学发展与哲学发展的互相影响与互相促进的关系，是一个重要的问题。钱学森总结哲学发展史与科学技术发展史，坚持下列观点，以之作为建立钱体系的指导思想。

4.1.1　哲学是科学认识成果的最高概括，因而它反过来指导一切科学研究[①]

马克思恩格斯认为：哲学是时代精神的精华，代表一个时代的理论思维，因而哲学对科学的发展具有极端的重要性。19 世纪 70 年代，经验自然科学积累了庞大数量的实证的知识材料，建立自然科学各个领域之间的相互联系，成为科学发展的必然要求，这样自然科学便走进了理论领域。在理论自然科学领域中，经验的方法就不中用了，只有理论思维才能帮助解决问题，因而恩格斯说："一个民族想要站在科学的最高峰，就一刻也不能没有理论思维。"[②]而辩证的思维形式，"对今天的自然科学来说，是最重要的思维形式，因为只有它才能为自然科学中所发生的发展过程，为自然界中的普遍联系，为从一个研究领域到另一个研究领域的过渡提供类比，并从而提供说明方法。"[③]

4.1.2　科学技术认识的新成就推动哲学的发展[④]

恩格斯总结 19 世纪科学与工业的发展对推动哲学发展的作用时指出："在从笛卡尔到黑格尔和从霍布斯到费尔巴哈这一长时期内，推动哲学家前进的，决不像

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982：217.
钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：128.

② 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971：384.

③ 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971：383.

④ 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：131.

他们所想象的那样，只是纯粹思想的力量。恰恰相反，真正推动他们前进的，主要是自然科学和工业的强大而日益迅速的进步，在唯物主义者那里，这已经是一目了然的了。"①

以哲学基本问题的另一个方面而论：我们的思维能不能认识现实世界？我们能不能在我们关于现实世界的表象和概念中正确地反映现实？在哲学史上休谟和康德的回答是否定的，他们是不可知论者。恩格斯指出，对不可知论的最令人信服的驳斥是实践，即实验和工业。科学发展史证明：动植物体内所产生的化学物质，在有机化学把它们一一制造出来以前，一直是不可知的"自在之物"；当有机化学开始把它们制造出来时，"自在之物"就变成为我之物了。所以恩格斯说：既然实验与工业"能够制造出某一自然过程，使它按照它的条件产生出来，并使它为我们的目的服务，从而证明我们对这一过程的理解是正确的，那么康德的不可捉摸的'自在之物'就完结了。"②

4.1.3 科学与哲学的相互影响与相互促进通过桥梁(部门哲学)来实现

这是钱学森独到的见解，他在构建现代科学技术体系的过程中说道：一方面，马克思主义哲学通过十一架桥梁指导着十一个大部门的研究工作，"这是我们科技发展的一个根本思想。"③另一方面，科学对哲学存在反馈作用，这就是：十一个部门的科学技术发展通过十一架桥梁反馈到马克思主义哲学，以此"来深化发展马克思主义哲学。"③这样，通过桥梁的联系，既使整个科学技术的发展生动活泼，又使哲学不停滞不前，哲学要不断吸收科学技术的新成果来丰富、深化与发展自己。从认识论的观点看，这三者之间的关系如下：

哲学——桥梁(部门哲学)——科学

一般——特殊————————个别

4.1.4 近代科学发展初期的观点与方法对科学发展的巨大影响

15世纪下半叶，自然科学开始从哲学中分化出来走上独立的道路：在哲学上，它主要是受培根经验论的认识论与方法论和笛卡尔唯理论的认识论与方法论的影响；在科学上，它开始只能是分门别类地研究，因此自然科学的认识过程与认识方法首先是对事物或过程进行分析，这就是："把自然界分解为各个部分，把自然界的各种过程和事物分成一定的门类，对有机体的内部按其多种多样的解剖形态进行

---

① 马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1977：222.

② 马克思恩格斯选集(3卷). 北京：人民出版社，1977：221.

③ 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：130，131.

研究,这是最近四百年来在认识自然界方面获得巨大进步的基本条件。"[①]这种研究事物的方法,被培根和洛克从自然科学中移到哲学中以后,就造成了近几个世纪所特有的局限性,即机械论观点与还原论方法。

机械论观点把自然的事物和过程孤立起来,撇开广泛的总的联系去进行考察,因此就不是把它们看作运动的东西,而是看作静止的东西;不是看作本质上变化着的东西,而是看作永恒不变的东西;不是看作活的东西,而是看作死的东西。还原论方法把对象分解为部分,从对象的整体往下分解,越分越细,研究得越来越深入,越具体。认为,认识了部分,也就认识了整体。在20世纪科学技术向综合化、整体化方向发展的形势下,在自然科学中长期占统治地位的机械论观点与还原论方法日益暴露其局限性。

钱体系的认识论与方法论,就是在总结近一百年来哲学发展与科学发展的历史经验前提下,特别是马克思恩格斯对近代科学的认识论与方法论作出的分析、概括与总结而创立起来的。

4.2　近代科学分门别类的认识过程

4.2.1　近代科学初期:强调经验与归纳

现代实验自然科学的真正始祖培根认为,"自然科学是真正的科学,而以感性经验为基础的物理学则是自然科学的最重要的部分。"[②]物理学是研究宇宙的基本组成要素物质、能量、空间、时间及它们的相互作用的科学,它同数学、化学、生物学和地理学等的关系十分密切。因而物理学的发展对科学的认识论与方法论的发展影响十分重大。

关于物理学发展对哲学认识论与方法论的影响,爱因斯坦在《物理学、哲学和科学进步》一文中指出:物理学研究的目的是寻求决定物体在时间和空间里的行为的普遍规律。因此,物理学的任务仅在于用假设从经验材料中总结出这些规律。这就是说,物理学的认识过程是:

经验-假设(规律)

爱因斯坦认为,物理学作为一门经验自然科学,它的发展过程就是不断地从经验归纳出规律的过程[③]。从认识论的观点看,这个认识过程如下:

大量单个观察的陈述→经验定律→普遍性的规律→科学理论

---

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1965:23,24.

② 马克思恩格斯全集(2卷). 北京:人民出版社,1965:163.

③ 许良英,范岱年. 爱因斯坦文集(1卷). 北京:商务印书馆,1976:115,519.

在近代自然科学发展史上最典型的事例是天文学与力学的发展与确立，它就是沿着上述过程发展与确立起来的，主要经过的历程如下：

（1）最初是天文学的大量观察

第谷·布拉赫（1546～1601年）是丹麦天文学家，他在丹麦国王菲德烈二世的支持下建造了一座天文台，从1576年到1597年二十年如一日地进行了不间断的天文观测，积累了大量天文观测资料。菲德烈死后，他又得到奥王路德福二世的支持，建立布拉格天文台继续进行天文观测，从1599年一直到1601年逝世。第谷终生的辛勤劳动积累了极为丰富的天文观测资料，为天文学的研究与发展奠定了基础。

（2）然后是天文学的经验定律与普遍性的规律

开普勒（1571～1630年）是第谷的助手，第谷临终前把他毕生积累的天文观测资料全部留给了开普勒，并留下一句重要的遗言："一定要尊重事实！"开普勒的最重要的工作，就是根据第谷的天文观测资料寻找行星的运行规律。他采取演绎的方法：提出假设，进行推算，把推算的结果与已有的观测数据相比较。如此反复进行，最后得出太阳系行星运动的两条基本定律：

第一定律（轨道定律）：行星的轨道为椭圆，太阳在椭圆的一个焦点上。

第二定律（面积定律）：在相等的时间内，行星和太阳的连线所扫过的面积相等。

在此之后，他认为，太阳系既然是一个整体，就必然存在一条把它的所有行星联系在一起的规律。于是他又进一步探寻各个行星运行轨道的空间分布同它们的运行周期的相互联系。最后得出了第三定律：

第三定律（周期定律）：太阳系中任何两个行星公转周期的平方比等于它们轨道半径的立方比。

由于开普勒三个定律的发现，哥白尼的日心体系便被定量化和精确化了。

（3）与开普勒同时期的伽利略对天文学的丰富与发展

伽利略（1564～1642年）用望远镜进一步充实与丰富了第谷·布拉赫的天文观测资料。伽利略是意大利天文学家、力学家、哲学家、物理学家、数学家，是近代实验物理学的开拓者，被誉为"近代科学之父"。他在科学上的贡献主要是：力学，他是第一个把实验引进力学的科学家，并利用实验和数学相结合的方法确定了一些重要的力学定律；天文学，他是利用望远镜观测天体取得大量成果的第一位科学家。这是在天文观测方面的一次重要突破，他发现了月球表面凹凸不平，木星有四个卫星（现称伽利略卫星），太阳黑子和太阳的自转，金星、木星的盈亏现象以及银河由无数恒星组成等。这样，他就用实验证实了哥白尼的"日心说"。

（4）最后是天文学理论

牛顿（1642～1727年）是英国数学家、天文学家和物理学家。开普勒的三个定律对行星运动作出了精确的定量描述后，接着必然提出一个问题：行星为什么这样

运动？如果应用伽利略的惯性原理，那么这个问题就归结为：使行星不作匀速直线运动而是沿椭圆轨道旋转的向心力是什么？它服从什么样的规律？牛顿从开普勒和伽利略的研究成果出发，进行理论的分析和概括，他在运用逻辑推理的同时创立了微积分这个新的数学工具，提出了万有引力定律和三大运动定律，把地球上的引力作用和天体间的引力作用统一起来，建立了近代力学的理论体系。

万有引力定律的发现，是17世纪自然科学最伟大的成果之一，它把地面上物体运动的规律和天体运动的规律统一起来，对以后物理学和天文学的发展具有深远的影响。它第一次解释了一种基本相互作用（自然界中四种相互作用之一）的规律，在人类认识自然的历史上树立了一座丰碑。

正是总结了16～17世纪天文学与力学的发展过程，爱因斯坦指出：从科学理论的观点来看，近代“经验科学的发展过程就是不断的归纳过程。”①

4.2.2 近代科学后期：强调理性与演绎

19世纪经验自然科学积累了庞大数量的实证的知识材料，经验科学便走进了理论科学的领域。理论科学研究的基本特征是：一方面初始的假设变得愈来愈抽象，离经验愈来愈远；另一方面，从尽可能少的假设或者公理出发，通过逻辑推理与数学演算，概括尽可能多的事实②。于是近代科学后期，科学的认识过程便从“以归纳为主”转向“以演绎为主”，其过程如下：

发现问题→提出假设→进行逻辑推理与数学演算→实验检验

在现代科学发展史上最典型的事例是基本粒子物理学的发展与确立，主要经过的历程如下：

（1）发现问题

1897年汤姆孙用实验发现电子，证明原子可分，原子有内部结构。1903年汤姆孙提出一个原子结构模型（假设）认为原子里的正电子均匀地分布在整个原子球体中，而负电子则在原子球体中游动。在静电力的作用下，这些电子被吸引到中心，并互相拒斥，从而达到稳定状态。

1911年汤姆孙的学生卢瑟福，用实验否定了汤姆孙模型。他进行了著名的α粒子散射实验，得出了有核的原子结构模型③，即：原子中央是一个几乎占有全部原子质量的、带有正电荷的核（原子核），电子在核的周围绕核转动，核的半径较原子的半径小很多。

从卢瑟福的原子模型提出需要解答的问题，即：为什么原子稳定地存在着？为

---

① 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集(1卷). 北京：商务印书馆，1976：115.

② 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集(1卷). 北京：商务印书馆，1976：115，262.

③ 程守洙，江之永，等. 普通物理学(第三册). 北京：人民教育出版社，1964.

什么光谱是线状的而不是连续的？因为，从卢瑟福的有核的原子模型出发，按照古典电磁理论，原子不可能是一个稳定的系统；原子所发射的光谱应该是连续的。这就是说，卢瑟福的原子的核型结构与古典电磁理论之间存在着矛盾。

（2）提出假设

为了解决上述问题，1913年卢瑟福的学生玻尔，把卢瑟福的原子模型和普朗克的量子论结合起来，把库仑定律和牛顿定律应用到原子系统，他从下面三个假设出发[①]，提出了氢原子理论：

① 电子只能在一些特定的圆轨道上绕核运行，在这些轨道上，电子的角动量是 $h/2\pi$ 的整数倍；

② 电子在上述特定轨道上运行时，不发射也不吸收能量，因此是稳定的（即处于"定态"）。

③ 当电子从一个具有较高能量 E_1 的轨道跃迁到具有较低能量 E_2 的轨道时，就要发射出辐射，辐射的频率 ν 满足如下的关系：$h\nu=E_1-E_2$。反过来，如果电子从 E_2 跃迁到 E_1，那就是辐射的吸收过程。

（3）进行演绎推理，通过实验检验

玻尔从上述假设出发，对最简单的氢原子结构作了详细的计算，得出的结果完全符合光谱分析所得的实验数据，使长期以来一直无法解释的许多经验公式，得到了统一的理论解释。玻尔的理论和它以后的发展在解决原子物理学问题上取得了很大的成功，它扩大了量子论的影响，加速了量子论的发展。

爱因斯坦总结了理论物理学的发展过程，认为在近代科学后期的发展过程中，初期以归纳为主的认识过程，正在让位给以探索性的假设-演绎为主的认识过程；在以探索性的假设-演绎为主的认识过程中，直觉、演绎和想象起着重大的作用。但是爱因斯坦从他自发的唯物主义的观点出发认为：在整个认识过程中，实验事实毫无疑问是假设的真理性的最高的裁决者[②]。

4.3 近代科学的认识论与方法论

4.3.1 近代科学初期：经验论与唯理论

文艺复兴以前经院哲学占统治地位，英国唯物主义经验论者弗兰西斯·培根（1561～1626年）在《新工具》（1620年）中反对经院哲学的亚里士多德教条，提出新

---

① 中国科学院自然科学史研究所近现代科学史研究室. 20世纪科学技术简史. 北京：科学出版社，1985：52.

② 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集（1卷）. 北京：商务印书馆，1976：115，262.

的认识论与方法论。培根认为:人类的认识来源于经验,据此科学的认识方法应该是从经验出发,通过归纳,从个别上升到特殊,再从特殊上升到一般。他第一个提出的科学归纳法,即科学实验的"三表法",主要是:

首先确定所要研究的事物或过程的性质;然后分三步进行归纳,得出三个表,即:

第一步,收集事物存在的"肯定的例证",列成"本质和存在表";

第二步,收集事物不存在的"否定的例证",列成"相似情况下的缺乏表";

第三步,选择同一事物在不同的情况下,具有不同程度的"程度差异的例证",列成"程度或比较表"。

最后,对这三个表进行比较与分析,得出关于事物性质的明确的结论。

由于培根最早提出以经验为依据的科学认识方法——科学归纳法,因此马克思称他为"整个现代实验科学的真正始祖。"①

法国唯心主义唯理论者勒内·笛卡尔(1596～1650 年)也反对当时在法国仍占统治地位的经院哲学,提出并担负起创立新的世界观和方法论的任务。他继承了理性主义的思想,认为从经验得到的知识有很多是可疑的,必须采用理性的方法,即直观和演绎,这是认识真理的方法。据此,笛卡尔提出的方法论是:先由直观提出第一原理,然后由逻辑推理与数学演绎推出结论。他认为理性的知识是清楚明白的、必然的知识,例如,数学、逻辑学与物理学就是运用理性思维的方法得出的知识。所以笛卡尔特别看重数学演绎的力量,认为数学从几个公理出发演绎出欧几里得几何学。但是,笛卡尔也承认自然界、物质世界的客观存在,以及物质作为一个"实体"的地位,这个唯物主义的自然观和理性主义的方法论,使得笛卡尔的物理学"成为真正的自然科学的财产。"②

近代科学发展初期提出的归纳法和演绎法,是近代科学最基本、最主要的方法,与此同时产生的类比、模拟、实验、分析综合和假设等方法,也属于近代科学的方法,是归纳法和演绎法的补充、丰富与发展。

4.3.2　近代科学后期:机械论与还原论

近代科学的发展是以牛顿力学为基础的,在它的基础上,热学、电学、光学以至于相对论、量子力学、核物理学和粒子物理学发展起来,形成了一座宏伟的物理学大厦,它不断向着物质世界的深度与广度进军,探索物质世界及其运动的规律。随着牛顿力学的发展及取得辉煌成就,它的机械论观点与还原论方法对哲学产生了深刻的影响,在科学中长期成为占统治地位的科学研究的观点与方法。

---

①　马克思恩格斯全集(2 卷). 北京:人民出版社,1965:163.

②　马克思恩格斯全集(2 卷). 北京:人民出版社,1965:166.

爱因斯坦分析了科学与哲学的互动关系，指出牛顿物理学的观点与方法——自然界的一切运动都可以归结为机械运动——的形成。在《物理学、哲学和科学进步》中他阐述如下：科学的发展强烈地影响着哲学思想，近百年来物理学的发展使人们认为，“外在世界的客体，是由相互作用着的不变的质点组成的。作用在这些质点上的力是已知的，质点在这些力的作用下处于不停的运动中，所有观察到的现象最终都可以归结为质点的运动。”①贝特朗菲从系统论的观点指出：在牛顿物理学基础上形成的机械论观点与还原论方法的实质是：“生物科学、行为科学和社会科学都要按照物理学的范式去把握，最终还原为物理层次的概念和实体。”②

恩格斯从哲学上把牛顿力学的观点与方法概括为：机械论观点与还原论方法。

机械论观点认为，自然界的一切现象都是在质点的相互作用力下产生的，自然现象变化与发展的根本规律是机械运动规律。牛顿就是以机械力学为基础解释自然现象和认识论问题的。

还原论的方法是，把复杂的高级运动形式“还原”为简单的低级运动形式，用低级运动形式的理论去概括高级运动形式的本质。最有代表性的是18世纪法国哲学家拉美特利，他把一切运动都归结为机械运动，从而得出“人是机器”的结论。

恩格斯指出，在科学认识发展过程中，对机械运动的认识是非常必要的，因为“一切运动都包含着物质的较大或较小部分的机械运动，即位置移动，而认识这些机械运动，是科学的第一个任务。”③同样分析的方法也是非常必要的，因为人们的认识应当从最低级、最简单的运动形式开始，先对它理解了，然后才能对更高级的和更复杂的运动形式有所阐明④。但是需要指出：对机械运动的认识，仅仅是科学的第一个任务，必须注意，机械运动“并没有把所有的运动包括无遗，如果把一切运动都归结为机械运动，这样就把其他运动形式的特殊性抹煞了。”⑤从系统论的观点看来，高级运动形式并不是低级运动形式的简单总和，更何况低级运动形式在高级运动形式中只是起必要的、基础性的作用，它并不起主导的、决定性的作用。

近代物理学的各个部门是在牛顿力学的基础上，在机械论的认识论和还原论的方法论的影响下发展起来的。

(1) 热学的发展

开始于17世纪末直到19世纪的热学发展史，实际上就是热力学和统计物理学的发展史。这个时期积累了大量的观察和实验事实，主要研究和讨论热的本性问题。19世纪初，道尔顿和阿伏伽德罗在原子-分子假说的基础上，阐明了化学上

---

① 许良英，范岱年．爱因斯坦文集(1卷)．北京：商务印书馆，1976：519.

② 贝特朗菲．一般系统论：基础，发展和应用．林康义，魏宏森等译．北京：清华大学出版社，1987：85.

③ 马克思恩格斯全集(20卷)．北京：人民出版社，1971：596.

④ 马克思恩格斯全集(20卷)．北京：人民出版社，1971：408.

⑤ 马克思恩格斯全集(20卷)．北京：人民出版社，1971：591.

的定比定律和倍比定律，奠定了物质分子-原子结构理论，它受牛顿力学的观点与方法的影响，提出：物质是由许多极小的微粒（分子与原子）组成的；物质中的微粒作永不停息的热运动。由此产生了热力学与气体分子运动论。热运动深化了牛顿机械运动的微粒说以及微粒之间存在的相互作用：热力学研究的热现象，是物质中大量分子热运动的集体表现，是物质的宏观性质；气体分子运动论以气体中大量分子作无规运动的观点为基础，根据力学定律和大量分子运动所表现出来的统计规律来阐明气体的性质。气体分子运动论的建立，促进了统计物理学的发展。

（2）光学的发展

在 17 世纪关于光的本性问题，有两派学说：一派是牛顿所主张的微粒说，认为光是从发光体发出的，而且以一定速度向空间传播的一种微粒；另一派是惠更斯说主张的波动说，认为光是在媒质中传播的一种波动。这两种学说都能解释光的反射与折射现象。在 19 世纪中叶以前微粒说比较盛行，只是在 1862 年，傅科用实验测定了水中的光速小于空气中的光速，波动说才又振兴起来。但是，从研究范式说来，这两种学说原则上都是机械还原论的光学理论，惠更斯虽然主张波动说，但他认为，科学应"借助于力学特点的理由来理解一切自然现象的原因"①。

（3）电磁学的发展

到 18 世纪中叶牛顿力学取得了辉煌的胜利，科学家借助于万有引力定律，对电力和磁力作出种种猜测。1785 年库仑定律的建立，既是实验经验的总结，也是理论研究的成果，特别是万有引力定律的启示，使得库仑在研究电力和磁力时，把它们跟万有引力类比，得出点电荷之间相互作用的基本规律。实际上，整个静电学的发展，都是在万有引力定律的已有成果的基础上取得的。

总的看来，光学、热的分子运动论、电学和磁学的发展，都是沿着牛顿的路线前进直至 19 世纪末，牛顿的研究范式在将近两百年中给予科学发展以稳定性和思想指导。牛顿物理学理论用逻辑与数学的语言写出，这在物理学知识的生产、交流与传播中起了无法估量的作用。从科学发展史看，用逻辑与数学把牛顿力学知识系统化、规范化，这对物理学理论的发展、从而对科学知识的发展，起着巨大的推动作用，正是由于自牛顿以来物理学发展的历史，基本上是沿着他的科学研究范式进行的，爱因斯坦在纪念牛顿逝世两百周年发表的《牛顿力学及其对理论物理学发展的影响》一文中，对牛顿作出了极高的评价，指出牛顿在科学发展史上的巨大功绩是：

① 牛顿决定着西方的思想、研究和实践的方向。

② 牛顿创立了一个关于物理因果性的完整体系，它由运动定律和引力定律的结合，根据在某一特定瞬间所得到的体系的状态，计算出它在过去和未来的状态，只要一切事件都是限于在引力的影响下发生的。

---

① 库德里耶普采夫. 物理学史（1 卷）. 2 版，1956.

③ 牛顿力学的思想与方法，直到19世纪末，一直是理论物理学领域中每个工作者的纲领。“一切物理事件都要追溯到那些服从牛顿运动定律的物体，这只要把力的定律加以扩充，使之适应于被考察的情况就行了。”[①]

由牛顿力学发展起来的近代物理学，它在人类认识自然界中取得的辉煌成就，深刻地影响哲学思想：把牛顿力学的理论与方法作为其他科学研究的范式，形成与发展了哲学史上影响深远的机械唯物论派别。这一派以18世纪法国唯物主义者拉美特利(1709～1751年)、霍尔巴赫(1723～1789年)、狄德罗(1713～1784年)、爱尔维修(1715～1771年)等为代表，它从哲学上概括了17～18世纪以牛顿为主要代表的自然科学的成就，形成了机械唯物论的自然观，其要点如下：

① 在本体论上，承认物质第一性，但否认人的意识对物质的反作用，例如拉美特利就提出“人是机器”。

② 在认识论上，把认识主体与认识客体割裂，认为自然科学就是研究自然界运动与变化的客观规律的，不考虑认识主体的能动性。

③ 在方法论上，主张机械论观点与还原论方法。

总的看来，牛顿的科学研究范式是，从机械力学的原理出发，用数学推理，推导出运动的法则，进而推导出自然界的其余现象[②]。在他的机械论观点与还原论方法中，包含着科学的“简单性原则”、“线性因果决定论原则”、“科学理论统一性原则”和“归纳主义原则”等，可概述如下：

(1) 简单性原则

牛顿力学的三大定律与万有引力定律，全面地概括了从文艺复兴以来力学、天文学等的研究成果，以简单的形式成功地统一了天上和地下的物体的运动，显现了简单性原则的神奇力量。牛顿在他的名著《自然哲学的数学原理》中写到，“自然界不作无用之事。只要少做一点就成了，多做了却是无用；因为自然界喜欢简单化，而不爱用什么多余的原因来夸耀自己。”

牛顿之后，当人们欢呼宏伟的物理学大厦臻于完成时，爱因斯坦从更高的逻辑起点上创立了相对论，把物理学引向高速宇观世界，并把牛顿力学囊括在内。爱因斯坦结合科学史和他自己多年理论探索的感悟，明确提出了逻辑简单性原则，他说：“我们在寻求一个能把观察到的事实联结在一起的思想体系，它将具有最大可能的简单性。我们所谓的简单性，……是指这体系所包含的彼此独立的假设或公理最少；因为这些逻辑上彼此独立的公理的内容，正是那种尚未理解的东西的残余。”[③]爱因斯坦还说，从马赫的那种怀疑的经验论出发，经过引力问题，他变成为

① 许良英，范岱年.爱因斯坦文集(1卷).北京：商务印书馆，1976：225.
② 牛顿.自然哲学之数学原理.1版.王克迪译.武汉：武汉出版社，1992：序言.
③ 许良英，范岱年.爱因斯坦文集(1卷).北京：商务印书馆，1976：298，299.

"一个到数学的简单性中去寻求真理的唯一可靠源泉的人。逻辑简单的东西,当然不一定就是物理上真实的东西。但是,物理上真实的东西一定是逻辑上简单的东西,也就是说,它在基础上具有统一性。"①

(2) 线性因果决定论原则

牛顿力学体系的建立,使得人们在认识论上产生了巨大的变化。牛顿力学认为,外力是一切运动变化的原因,外力与运动变化有严格的因果关系;一个系统的初始条件一旦确定,此后的运动都是必然确定的。根据牛顿力学,天体运动的原因是万有引力,行星运动的规律是由万有引力定律决定的。牛顿力学成功地解释了行星、卫星和彗星的运动,同样也解释了潮汐和地球的进动。这是典型的线性因果决定论。

爱因斯坦指出:牛顿力学把运动定律和引力定律结合起来,构成了一个思想结构,"通过这个结构,就有可能根据在一特定瞬间所得到的体系的状态,计算出它在过去和未来的状态,只要一切事件都是限于在引力的影响下发生的。"②正是在因果决定论的基础上,牛顿确立了他的物理学理论框架。爱因斯坦评价牛顿对物理学的贡献时指出:"在牛顿以前,并没有一个关于物理因果性的完整体系,能够表示经验世界的任何深刻特征。"③

(3) 科学理论统一性原则

牛顿借助于微粒说,企图从力学原理中推导出热、光、电、磁等自然现象,这实际上就是以力学原理为基础的科学统一的纲领。在力学中,他把天上的力学与地下的力学统一起来;并且系统而详尽地建立了力学的不同部门——固体力学、流体力学、天体力学。在热学中,他把热看作是物体微粒的振动,并假定物体微粒之间的斥力与其间的距离成反比,由此导出著名的波义耳定律。在光学中,他把光看作是微粒,并把光学现象与力学原理联系起来,导出包括折射定律在内的许多光学定律。在电学和磁学中,他假定有某种流体,能够有电和磁流出。由此导出电力和磁力。

牛顿的科学统一性纲领在科学发展史上产生了极其深远的影响,在他以后的两百多年中,自然科学,尤其是物理学,基本上是沿着牛顿的科学研究范式进行的。牛顿的科学统一性思想对爱因斯坦影响很大,爱因斯坦的一生,可以说是为追求科学统一而奋斗的一生。他在 1901 年发表的第一篇科学论文"由毛细管现象所得到的推论",就是从统一性的角度看待分子力同牛顿超距作用力之间的内在关系,企图给化学以力学的基础。难怪他把"力求整个理论前提的统一和简化",视为建立

① 许良英,范岱年. 爱因斯坦文集(1 卷). 北京:商务印书馆,1976:380.

② 许良英,范岱年. 爱因斯坦文集(1 卷). 北京:商务印书馆,1976:224.

③ 许良英,范岱年. 爱因斯坦文集(1 卷). 北京:商务印书馆,1976:222.

新理论的相当重要的“微妙动机”。他深有感触地说:从一开始他就一直存在着这样的企图,即要寻找一个关于所有这些学科的统一的理论基础,它由最少数的概念和基本关系组成,从这些最少数的概念和基本关系,可用逻辑方法推导出各个分科的一切概念和一切关系。这就是我们所以要探求整个物理学的基础的用意所在。爱因斯坦认为这个终极目标是可以达到的。这样一个深挚的信念,也成为经常鼓舞着许多研究者的强烈热情的主要源泉。

(4) 归纳主义原则

归纳主义的科学观肇始于培根,他认为:要了解自然,就必须向自然求教,而不是向《圣经》或向亚里士多德的权威求教;知识的源泉来自经验,科学知识是从经验事实推导出来的知识。归纳主义的科学观随着培根以后近代科学的发展,成为一种占统治地位的思潮。牛顿深受归纳主义思潮的影响,在《自然哲学之数学原理》第三编“宇宙体系(使用数学的论述)”中,他提出了四条推理规则,其中的第四条是:“在实验哲学中,我们必须将由现象所归纳出的命题视为完全正确的或基本正确的,而不管想象所可能得到的与之相反的种种假说,直到出现了其他的或可排除这些命题、或可使之变得更加精确的现象之时。这就是说,在牛顿看来,科学理论的基本概念和基本定律是能够从经验中推导出来的。这无疑是“牛顿所说的‘我不作假说’的意义”[①]。

4.4 现代西方科学哲学的认识论与方法论

进入20世纪,近代科学一方面不断分化,另一方面不断综合,朝着整体化的方向发展。与此同时,近代科学的认识论与方法论也沿着两个方向发展:一个是现代西方科学哲学,它沿着分化的方向,坚持分析的方法,从实证哲学发展为分析哲学;另一个是马克思主义哲学,它沿着综合的、整体化的方向发展,坚持辩证方法,坚持在整体观下把分析与综合辩证地统一起来,丰富发展了辩证唯物主义哲学。本节对现代西方科学哲学的分析方向作简要的述评,至于马克思主义哲学的整体化方向,以及钱学森根据现代科学技术新成就提出的、现代科学技术的认识论与方法论,在第五章阐述。

在几百年来近代科学发展的基础上,到19世纪末、20世纪初发生了一场更为深刻的科学革命,它以康托的数学革命(集合论)、罗素与希尔伯特的逻辑学革命(数理逻辑)、普朗克与爱因斯坦的物理学革命(量子论与相对论)为标志,把近代科学推向一个更高的发展阶段——现代科学发展阶段,在这个阶段上,由于经验自然科学积累了庞大数量的实证的知识材料,“自然科学便走进了理论的领域,而在这

① 许良英,范岱年.爱因斯坦文集(1卷).北京:商务印书馆,1976:314.

里经验的方法就不中用了，在这里只有理论思维才能有所帮助。”[①]但是，不同的哲学学派有不同的理论思维，从近代以来，对自然科学作哲学反思最早和最有影响的是实证主义哲学。它是西方哲学史上第一个提出要以实证自然科学的精神超越传统形而上学、提出所谓“实证主义原则”的哲学流派，它的产生与发展经历了三代。

第一代以孔德(1798～1857年)、穆勒(1806～1873年)、斯宾塞(1820～1903年)为代表。近代自然科学为了摆脱古代自然哲学直观的、思辨的猜测，从它诞生的时候起就强调必须以观察和实验得出的经验知识为依据，认为这样得来的经验知识具有“确实性”或“实证性”，因此他们称实验的自然科学为“实证科学”。实证主义流派创始人孔德提出的“实证主义原则”认为：既然经验是知识的唯一来源和基础，那么一切科学知识就必须限制在经验的范围内，不能超出经验范围。故此孔德以“实证哲学”为名目的在于表明，他的哲学是以实验自然科学的实证知识为根据的，是所谓的“科学的哲学”。由于牛顿物理学在科学研究中不断地获得巨大的成功，使得孔德把“实证主义原则”推向极端，认为经验自然科学的进步表明了：科学知识不仅必须建立在观察和实验的经验事实的基础上，而且必须局限在经验的范围之内，否则就是形而上学。

当然，科学知识必须建立在观察和实验的经验事实的基础上，这是正确的，因为“一切科学知识来源于经验”是一个正确的命题。但是，一切科学知识必须局限在经验的范围内，这就错误了。因为科学知识，正如爱因斯坦所说[②]，包含着两个不可分割的组成部分，即经验知识和理性知识。孔德“拒斥形而上学”，实际上就是拒斥理性知识，拒斥理论思维。孔德把超出经验范围的哲学问题，如物质第一性问题、思维与存在的关系问题，等等，认为是形而上学，“实证科学”的态度是置之不理，不予讨论。这表明，孔德的实证主义，从根本上说就是只承认经验认识，不承认理性认识。

第二代以马赫(1838～1916年)、阿芬那留斯(1843～1896年)、庞加莱(1854～1912年)为代表。马赫接受孔德的“实证主义原则”，强调观察与实验是认识的基础，认为人的认识不能超出经验。从这个原则出发，马赫完全同意主观唯心主义者贝克莱的观点——“物是感觉的复合”。不同的是：马赫用“要素”代替“感觉”，把贝克莱的观点改为“物是要素的复合”。在马赫看来，“要素”既不是物理(客观)的，也不是心理(主观)的，而是“中性的”。马赫认为，这样“要素论”就克服了将物质和精神、客观和主观对立起来的形而上学。

应该指出，马赫是一位很有造诣的自然科学家，在声学、热力学、光学和科学史学等方面都有杰出的贡献，他对科学中的理论思维不能熟视无睹，因而他在科学知

---

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：382.

② 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集(1卷). 北京：商务印书馆，1976：313.

识中引入了思维、引入了理性认识：先是提出了“函数关系论”，它描述的是现象之间的依存关系，而不是“因果联系”；后来又提出了“思维经济原则”，马赫认为，既然世界只是具有某种函数关系的感觉要素构成的，那么科学知识就只是对感觉要素的一种“方便的描述”，也就是一种“经济思维”。

第三代以逻辑实证主义为代表。这一学派开始形成于20世纪20年代，原先是以德国哲学家石里克为首的“维也纳学派”，其成员有卡尔纳普(1891～1970年)、艾耶尔(1910～)、纽拉特(1882～1946年)、赖欣巴哈(1891～1953年)、亨普尔(1905～)等。逻辑实证主义者吸取了现代科学革命的新成果，在科学理论愈来愈抽象，愈来愈数学化、形式化的新形势下，坚持与发展了实证主义，提出了以下的思想观点：

① 经验证实原则。它规定：一切有实际内容的科学知识都是经验知识，因此都必须被经验证实才有意义。换句话说，表述经验内容的命题的真理性以能否被经验证实为标准，这种命题才是有意义的命题。

② 语言的两种职能。它认为，语言有两种性质完全不同的职能，即：表述职能——表述经验事实，如有意义的命题；表达职能——表达个人的内心世界，即自我的感情、意志和愿望等，如伦理学、文学等方面的命题。

③ 科学理论由两类命题组成。科学理论的语言是表述的语言，它包括不同性质的句子：经验句子，陈述经验事实；逻辑句子，表述概念和命题之间的逻辑关系。与此相适应的是两类不同性质的真理：经验真理，已被经验证实的经验命题或事实命题，它是或然的；逻辑真理，符合逻辑法则的陈述，它是必然的。

④ 科学是假设。一切科学的理论、原理和定律都是归纳得来的经验真理，而经验真理不是必然真理，它们只是假设。例如牛顿力学，它是对天体运动和地球上物体运动的经验的归纳，是或然的真理；它对于未来来说不是绝对确定的，而仅是一种可能的假设。由于牛顿力学是相对真理，所以两百多年后它被爱因斯坦相对论代替了。同样的，爱因斯坦相对论也是相对真理，未来它也可能被另一种概率更大的新的理论所代替。

逻辑实证主义在吸收现代科学革命新成果的基础上，发展了孔德、马赫等的实证主义观点，因而它提出的两个观点迄今还深深地影响着科学界：

(1) 科学主义(scientism)

逻辑实证主义认为：两百多年来在牛顿力学基础上形成与发展起来的近代自然科学是一切知识的典范，并把“实证主义原则”作为衡量科学与非科学的标准。逻辑实证主义所理解的“科学理论”，是在现代数学革命、逻辑学革命与物理学革命基础上形成起来的，它的形式是：公理系统(语形)＋模型(语义)。这是现代西方科学哲学关于“科学理论”的正统观点(orthodox view)，其中的公理系统是由基本概念、基本假设与逻辑推理组成，而理论与经验之间的联系则由模型来体现。

由此产生了科学主义的两个基本观点:第一,科学是万能的,它的方法可以而且应该被应用于包括哲学、人文和社会科学在内的一切研究领域。第二,科学是以观察与实验为基础的,经验的证实是检验科学理论的真理性的唯一标准,能得到经验证实的就是科学,否则就不是科学。

从唯物辩证法的观点看来,自然科学的真理是在一定的社会历史条件、一定的认识水平下成立的,是相对真理。科学主义以牛顿物理学为科学的唯一的典范,把它绝对化,奉为圭臬,这对科学的创新研究、从而对科学的发展将带来极为不利的后果:首先,自然科学对于自然界的认识是在不断发展、不断深化的。牛顿力学占主导地位的时代,人们相信绝对时空观,这种想法不是被爱因斯坦相对论的发现打破了吗?其次,自然科学与人文社会科学的关系,是事实与价值、科学文化与人文文化之间的关系,它们是相互联系、相互渗透、相互促进的,绝不能把它们割裂和对立起来,科学主义片面强调只有自然科学才提供客观知识,人文社会科学只能为人们提供人类的情感、意志与道德规范。现代科学危机充分表明,正是由于科学精神与人文精神的对立,造成了科学丧失了它的人文意义,科学主义对人的存在的缺乏关怀,是科学非人化应用和负面影响的原因。

(2) 拒斥哲学

逻辑实证主义者从唯心主义经验论的立场出发,拒斥"形而上学"(实际上就是拒斥哲学),拒斥理论思维,提出划分科学与形而上学的界线就在于"经验证实",即:凡是能被经验证实的都是有意义的,反之则是无意义的。科学命题能被经验证实,因而是有意义的。而哲学的思维与存在、精神与物质的关系问题,不能被经验证实,因而是无意义的,应该予以拒斥。批判理性主义者波普尔从反逻辑实证主义的立场出发,虽然认为划分科学与形而上学的界线不在于"经验证实",而在于"经验证伪",认为从逻辑推理规则来看,全称命题不能被经验证实,因为只要有一个反例,它就被证伪了。因而波普尔把不属于经验范围的哲学与数学划在非科学的范围内。逻辑实证主义者和批判理性主义者,都把不属于经验范围的研究看成是非科学。

从唯物辩证法的观点看来,经验与理论、感性与理性是认识过程中相互联系、相互制约、相互作用、不可分割的两个方面,不能片面地只用经验作为划分科学与非科学的标准。逻辑原子主义者罗素早就对"经验证实原则"进行过批判分析,他指出:能够被经验证实的理论或命题不一定就是可靠的知识或绝对真理,因为一切经验作为感性认识都可能是不可信赖的,甚至是完全虚假的;再则,利用经验归纳方法作为科学辩护的手段本身也具有极大的局限性,因为能够用来归纳的经验事实总是有限的,由归纳确证的命题是或然的。爱因斯坦正确地指出,经验知识与理性知识是科学理论中的两个不可分割的部分,科学理论就是在经验知识和理性知

识的矛盾运动中发展的①。

参考文献

贝特朗菲. 一般系统论:基础、发展和应用. 林康义,魏宏森等译. 北京:清华大学出版社,1987.
程守洙,江之永,等. 普通物理学(第3册). 北京:人民教育出版社,1964.
库德里耶普采夫. 物理学史(1卷). 2版,1956.
马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1965.
马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1971.
马克思恩格斯全集(2卷). 北京:人民出版社,1965.
马克思恩格斯选集(3卷). 北京:人民出版社,1977.
马克思恩格斯选集(4卷). 北京:人民出版社,1977.
牛顿. 自然哲学之数学原理. 1版. 王克迪译. 武汉:武汉出版社,1992.
钱学森,等. 论系统工程. 长沙:湖南科学技术出版社,1982.
钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京:中共中央党校出版社,1987.
许良英,范岱年. 爱因斯坦文集(1卷). 北京:商务印书馆,1976.
中国科学院自然科学史研究所近现代科学史研究室. 20世纪科学技术简史. 北京:科学出版社,1985.

① 许良英,范岱年. 爱因斯坦文集(1卷). 北京:商务印书馆,1976:313.

第五章 钱体系对现代科学整体化发展方向的研究

5.1 19世纪人类认识的新进展揭开了科学整体化发展的序幕

5.1.1 19世纪辩证哲学预示了科学的整体化发展

在英国以巴克莱(1685～1753年)为代表的唯心论哲学,和法国以拉美特里(1709～1751年)为代表的机械唯物论哲学之后,19世纪最主要的哲学进展是集德国古典哲学大成的黑格尔的辩证哲学。黑格尔(1770～1831年)批判了机械唯物论"自然界绝对不变的见解"①,用"绝对精神"代替"观念的集合体",第一次全面系统地提出了辩证法的基本思想,"把整个自然的、历史的和精神的世界描写为一个过程,即把它描写为处在不断的运动、变化、转变和发展中,并企图揭示这种运动和发展的内在联系"②,并且创造了辩证法的一般运动形式。但是,黑格尔关于自然界的辩证法思想,由于受到当时自然科学发展水平的局限,更由于他是从唯心主义的立场出发的,因而其中虽然贯串了辩证法,提出了一些天才的思想,预测到一些后来的发现,但在不少地方却是"用理想的联系来代替尚未知道的现实的联系,用臆想来补充缺少的事实,用纯粹的想象来填补现实的空白。"③

恩格斯批判地吸取了黑格尔辩证法的合理内核,从辩证唯物主义的立场上,按照事实本身的联系而不是从幻想的联系,来考察自然界中和历史上所显露出来的辩证的发展,并在19世纪自然科学新进展的基础上,深刻地指出了,研究自然界的各门科学之间的相互联系、相互转化的过程"是一个伟大的基本过程,对自然的全部认识都综合于这个过程的认识中。"④唯物辩证法揭开了科学整体化发展的序幕。

5.1.2 19世纪科学的新发现揭开了科学整体化发展的序幕

科学史家称19世纪是"科学的世纪",自然科学取得了一系列新发现,特别是三大发现(细胞、能的转化和达尔文的生物进化论),在自然科学发展方向上,从不

---

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1971:364.

② 马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1971:26.

③ 马克思恩格斯选集(4卷). 北京:人民出版社,1977:242.

④ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1971:16.

断分化开始走向综合化、走向整体化。科学的综合化、整体化方向，首先是从自然科学一系列最新的发现开始的，科学的新发现打破了牛顿以来形成的机械论自然观与还原论方法，揭开了科学整体化发展的序幕。恩格斯从辩证唯物主义的立场上，对当时科学的新发现作出了分析与概括，主要是：

(1) 天文学中康德-拉普拉斯的星云假说

德国古典哲学奠基人康德(1724～1804年)在《自然通史和天体理论》(1755年)中提出星云假说，它认为：太阳系是在时间的进程中生成的东西；主要是星云物质在吸引和排斥的相互作用下逐渐形成和发展起来的。法国天文学家拉普拉斯(1749～1827年)在《宇宙体系论》(1796年)中独立地提出了和康德的星云假说相类似的太阳系起源假说，坚持把太阳系的形成看作是一个历史过程。恩格斯评价康德的星云假说"是从哥白尼以来天文学取得的最大进步，认为自然界在时间上没有任何历史的那种观念，第一次被动摇了。"[①]从而在形而上学思维方式上打开了第一个缺口。

(2) 地质学中赖尔的地球渐变说

英国地质学家赖尔(1797～1875年)发表的《地质学原理》(1830年)，批驳了居维叶的"灾变论"，阐明了地质渐变思想。他用自然界自身的原因和发展变化的观点来说明古今地球表面的变迁。赖尔认为，地球表面的变迁是由各种自然力的缓慢作用引起的，这些自然力包括雨水、河流、泉水、洋流、潮汐、冰雪等的水成作用，和火山、地震等的火成作用。水成作用使地面不断地趋于平缓，火成作用使地面越来越起伏不平。恩格斯高度评价赖尔，认为他"第一次把理性带进地质学中，代替了用造物主的一时兴发所引起的突然革命"[②]。

(3) 物理学中迈尔与焦耳等的能量守恒和转化定律

德国青年医生迈尔、英国业余物理学家焦耳等人，在前人实践的基础上，从不同的角度，用不同的科学方法，发现了热运动和机械运动、电磁运动可以相互转化。能量转化定律表明："自然界中的一切运动都可以归结为一种形式向另一种形式不断转化的过程。"[③]这条定律用物理学的方法证明了笛卡尔在两个世纪以前从哲学上提出的运动不灭原理。由此必然得出结论：自然界物质的运动是永恒的，无限的，不需要神秘的"第一次推动"而运动起来。

(4) 化学中有机物的合成

1824年德国青年化学家维勒(1800～1882年)用无机的方法从无机物合成有机物，人类第一次将无机物转化为有机物，从而消除了无机界和有机界之间不可逾

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：62.

② 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：367，368.

③ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：241.

越的鸿沟。这一发明证明了"化学定律对有机物和无机物是同样适用的"①。它从另一方面打破了形而上学的自然观:有机化合物只能从生物体中产生,无机物和有机物之间的界限是永远不可逾越的。

(5) 生物学中的细胞学说与生物进化论

1838 年德国植物学家施莱登提出了细胞是植物构造的最基本单位的理论;1839 年德国动物学家施旺进一步提出了:整个生物界都是由细胞构成的理论。细胞学说的创立说明了②:一切机体,除最低级的外,都是从细胞的繁殖和分化中产生和成长起来的。细胞学说揭示了动植物的统一性,阐明了有机体分化、发展的规律,从而表明辩证自然观的正确性。

1859 年英国博物学家达尔文(1809～1882 年)发表了《物种起源》,提出了以自然选择为进化机制的生物进化论。达尔文认为:"物竞天择,适者生存"是生物进化的规律,在它的作用下生物不断地进化。在生物进化规律的作用下,"机体从少数简单形态到今天我们所看到的日益多样化和复杂化的形态一直到人类为止的发展系列,基本上是确定了。"③进化论科学地证明了,生物界的物种都有它的发生、发展和灭亡的历史,这对生物学中长期占统治地位的"神创论"、"目的论"、"物种不变论"等唯心主义和形而上学是有力的批驳。

5.1.3　恩格斯对科学整体化发展的论述

恩格斯正是批判地吸取了黑格尔辩证法思想的合理内核,概括总结了 19 世纪自然科学的新发现的基础上,深刻地洞察科学发展的新动向,明确指出:当前科学的发展正面临一个伟大的转向——从分化向综合化、整体化转向,从形而上学思维向辩证思维转向。为了迎接这个转向,恩格斯提出了指导科学发展的极为重要的思想,主要是:

(1) 必须从形而上学自然观复归辩证自然观

恩格斯指出,19 世纪自然科学一系列的新进展在机械论自然观上打开了缺口,从牛顿以来两百多年形成的、长期统治着人们的机械论观点,从此要被辩证的自然观代替,我们又回到了希腊哲学的伟大创立者们的观点,即:"整个自然界,从最小的东西到最大的东西,从沙粒到太阳,从原生生物到人,都处于永恒的产生和消灭中,处于不断的流动中,处于无休止的运动和变化中。"④

① 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京:人民出版社,1971:369.
② 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京:人民出版社,1971:537.
③ 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京:人民出版社,1971:538.
④ 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京:人民出版社,1971:371.

（2）必须从形而上学思维复归辩证思维

恩格斯指出，近代自然科学从培根开始、分门别类地对自然界进行解剖、分析、实验。这种研究方法给我们留下了一种习惯，即：把自然界的事物和过程孤立起来，撇开从自然界广泛的总的联系去考察。这种研究习惯造成了最近几个世纪所特有的形而上学思维方式①；而古希腊自然哲学则是把自然界当作一个整体而从总的方面来观察，自然现象的总联系是直接的直观的结果，因而近代自然科学在细节上对自然界的理解比较确实、比较正确。但是，由于它只从部分、只从分析入手，这就堵塞了从了解部分到了解整体、到洞察普遍联系的道路。从这两种思维方式的比较中，说明了在科学发展史上，为什么"在希腊哲学的多种多样的形式差不多可以找到以后各种观点的胚胎、萌芽。"②

（3）自然科学必须朝整体化方向发展

在科学转向综合化、整体化发展的过程中，科学的发展方向发生了重大的转变，这主要表现在：

从16世纪到18世纪末科学分化时期，自然科学的发展是分门别类地研究，积累了大量实证知识。从整体上看，这时期的自然科学是搜集材料的科学，是关于既成事物的科学。

从19世纪开始向综合化、整体化转向时期，一系列自然科学的新发现，表明了自然科学研究不仅能够指出自然界中各个领域内的过程之间的联系，而且总的说来也能指出各个领域之间的联系，这样自然科学的发展，就开始转变为整理材料的科学，关于过程，关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学③。在这个历史转变过程中，不断出现的自然科学的新发现，使我们对自然过程的相互联系的认识大踏步地前进了，从而"我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描绘一幅自然界联系的清晰图画。"④于是开始了科学新整体化方向发展。

（4）转向时期的自然科学是一个相互联系的整体

恩格斯从唯物辩证法的观点出发，批判地吸取了圣西门和黑格尔的合理思想，概括总结了19世纪自然科学的重大成果，特别是细胞学说、能量守恒定律和进化论三大发现，法拉第电磁感应理论、分子运动论、元素周期律，以及生理学、胚胎学、古生物学、地质学领域的最新成果，按照自然界物质运动形式从简单到复杂的次序，把自然科学描写为一个系统的整体，自然科学的体系结构如下：

---

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：24.

② 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：386.

③ 马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1971：241.

④ 马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1971：242.

现实世界的空间形式和数量关系——数学；

机械运动-天文学、力学-固体力学、流体力学；

物理运动-物理学(分子的力学)-力学、热学、电学、磁学、光学；

化学运动-化学(原子的物理学)-无机化学、有机化学-热化学、电化学；

生命运动-生物学(蛋白质的化学)-植物学、动物学、人类学。

这样，就把分门别类的自然科学(力学、物理学、化学和生物学等)联结成为一个系统的整体，在这个整体中开始出现了交叉科学，例如生理学是生物学与物理学及化学的交叉：它首先是生物学，但它又是“有生命的物体的物理学，特别是它的化学”[①]，生理学是一个内容更丰富的领域，即有机生命的领域。

5.2　20 世纪系统科学的兴起是科学整体化发展的标志

20 世纪，继普朗克与爱因斯坦科学革命之后，科学技术发展出现了综合化的新情况：一方面是许多科学向综合化的方向发展，最明显的是生物科学、社会科学、历史科学的综合化发展，主要表现在：这些科学的内部以及它们彼此之间，不再是孤立的，而是相互联系、相互渗透与相互促进的；另一方面是“科学-技术-工程”的一体化，诞生一门新的科学——技术科学，它把科学与工程联系起来。技术科学的诞生是科学综合化、系统化的重要环节。技术科学的兴起是由于：在现代科学技术革命浪潮中，一系列新兴技术(电子技术、信息技术、自动化技术、航天技术、原子能技术、生物技术等)，如雨后春笋般地成长壮大，与此相应出现了新技术需要处理的、共同的设计原理问题，于是技术科学应运而生。

在科学综合化发展的大科学、大技术、大工程时代，人们面对的是复杂、多变的系统，它提出了科学研究的新问题，这些问题涉及许多学科领域，需要考虑成千上万个而且种类繁多的、瞬息万变的变量。显然，这是原来在机械论、还原论主导下的近代自然科学所无法解决的。于是一场新的科学革命——系统科学革命悄然兴起。系统科学通过“系统”观念把相关的科学技术领域连成从总体上处理问题的方法。系统科学的产生与发展迅速形成了一股推动科学向综合化、整体化方向发展的强大动力，从此“系统”范式走上了现代科学技术发展舞台的中心。

从钱体系的纵向划分看，可以把系统科学的发展划分为以下几个重要阶段。

5.2.1　系统哲学：一般系统论

首先从哲学上冲击机械论观点与还原论方法的，是奥地利生物学家贝特朗菲

---

① 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971：600.

(1901～1971年)提出的"一般系统论"。20世纪20年代当贝特朗菲作为一个理论生物学家登上科学舞台时,生物学界流行着机械论与活力论两种对立的观点。贝特朗菲认为,生命机体是高级运动形式,它包含机械、物理、化学等低级运动形式,因而机械论观点对生命现象的描述是必要的,是有价值的。但是生命现象的重要特征,如整体性、目的性、组织性、等级结构、动态相互作用等,在机械论观点与还原论方法的理论框架内是无法做出解释的。为此,贝特朗菲提出了生物学的机体概念,强调把有机体作为一个整体或系统来考虑,由此形成了系统研究的第一个理论框架"一般系统论"①。

贝特朗菲认为:系统在现实世界中无处不在,系统观点渗透于科学和技术的各个领域中,运用系统概念来处理复杂性问题是科学思维方式的重大转变。一般系统论就是研究一般地适用于系统的普遍原理,具体地说,它是研究系统的模式、性能、行为和规律的一门科学,为人们认识各种系统提供一般方法论的指导。一般系统论在科学观点与科学方法上的根本变革在于提出了以下关于研究系统的方法论原则:

(1) 整体性原则

整体性是系统最重要的属性,贝特朗菲把系统科学定义为关于整体性的科学。系统整体的功能不等于系统各组分功能的机械总和,它大于各组分功能的简单相加(1+1>2),这也就是说,整体具有各组分之和所没有的新质。整体性原则要求人们在研究和处理问题时,要从整体出发,要有全局观念,把研究对象看作一个有机体;孤立地、片面地研究对象的各个组成部分是十分必要的,但是,认识了事物的各个组成部分并不能还原为认识事物的整体。

(2) 结构功能原则

结构是指系统内部各组成部分(组分)之间的相互联系、相互作用的方式,是系统内部各个组分的组织形式。系统的结构在整体上具有下列特性:稳定性、层次性、可变性、相对性。系统的功能是系统在与外部环境之间的相互联系与相互作用过程中,所具有的行为和功效等能力。它由组分、结构和环境共同决定。结构与功能是相互联系、相互制约的;如果结构是系统内部各组分联系的方式,那么功能就是系统与环境联系的方式和对环境作用的能力;系统功能的发挥,既受外部环境变化的制约,也受系统内部结构的制约。

(3) 动态平衡原则

动态平衡反映的是系统内部总量的变化规律。系统的动态平衡具有如下特点:它是相对的,而不是绝对的;变化的,而不是永恒不变的。系统的动态平衡是由系统内部自发调节的,是系统内部的全部个体综合运动所产生的结果。所以,系统

① 贝特朗菲.一般系统论:基础,发展和应用.林康义,魏宏森等译.北京:清华大学出版社,1987:1～8.

的动态平衡反映的是系统内部总量的变化规律，是指总量内部各组成要素之间具有相对平衡关系。由于任何系统都是处在不断运动与变化的过程中，因此必须从动态平衡的观点去考察、分析避免系统剧烈的震荡。

(4) 目的性原则

系统的目的性就是系统的功能目标，它是系统本身所固有的，由系统的性质决定，并受系统内部状态和外部环境条件所制约。系统的运动与变化有确定的目标，要采取相应的手段去实现。

(5) 最优化原则

为了最好地实现系统的目标，要通过改变组分和结构使系统功能最佳。

一般系统论的方法论原则体现了生命科学的有机论观点与整体论方法，它在科学发展史上产生了两个重大的突破：第一，它提出的有机论观点与整体论方法，克服了从牛顿力学形成与发展起来的、近代科学的机械论观点与还原论方法的局限性，后者给科学技术综合化发展方向带来严重的障碍；第二，它提出的系统观，克服了近代科学分门别类研究——把对象置于封闭的、孤立的、静止的状态中研究——带来的局限性，把全部科学作为一个系统的整体来研究。因而一般系统论的创立，必然带来科学观与科学方法的改变，适应现代科学技术整体化发展的要求。所以，系统观与系统方法迅速上升为现代科学技术研究的范式。

5.2.2　系统工程：综合的技术

系统工程是第二次世界大战时期逐渐发展起来的。它是一门高度综合性的、组织管理的科学方法，是运用系统思想直接改造客观世界的一大类工程技术的总称。系统工程的基本特点是：把研究对象作为整体看待，要求对任何对象的研究都必须从它的组成、结构、功能、相互联系方式、历史的发展和外部环境等方面进行全面的、综合的考察，做到分析与综合的统一。

在现代科学技术发展不断分化又不断综合、生产经营活动的规模不断扩大的新形势下，迫切需要一种能有效地组织管理复杂系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的技术，于是系统工程应运而生。

系统工程的主要任务是：根据总体协调的需要，把自然科学和社会科学中的基础思想、理论、策略、方法等从总的方面联系起来，应用现代数学和电子计算机等工具，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和自动控制等功能进行分析研究，借以达到最优化设计、最优控制和最优管理的目标。

系统工程的基本要素是：人、物、财、目标、机器设备、信息等六大因素。各个因素之间是互相联系、互相制约的。

系统工程的基本方法是：系统分析、系统设计和系统的综合评价。具体地说，就是用数学模型和逻辑模型来描述系统，通过模拟反映系统的运行、求得系统的最

优组合方案和最优的运行方案。

系统工程的基本过程是:系统开发、系统制造和系统运用三个阶段,每个阶段又可划分为若干步骤如下:

问题-目标-模型-模拟-优化-决策-实施

其中的第一步是明确问题,以确定解决问题所要达到的目标;第二步是把实现目标的各种条件或因素综合起来,形成一个相互关联的系统,对之进行系统分析,建立定性或定量的模型;第三步是用电子计算机对模型进行实验研究,进行测试和计算,并据此对模型进行修正,这就是仿真;第四步是对各种可能的方案进行优化,从中选出几种方案供决策选用;最后,由决策者选定一种方案实施。整个过程都需要组织管理和控制。

系统工程需要的基础理论是:运筹学、控制论、信息论、管理科学、应用数学、电子计算机等。

1957 年古德和麦克雷尔在《系统工程》一书中,把"工程"的概念扩大为三个方面,即:工程实施过程、工程研究过程与工程所需的知识背景。1969 年霍尔进一步把这"三个方面"发展为"三维结构",即:时间维、逻辑维与知识维,其中,时间维是关于"物"的,是硬工程;逻辑维与知识维是关于"事"的,是软工程。他们把"硬工程"和"软工程"包括在一起,称为"系统工程"。

5.2.3 系统技术:综合的方法

系统技术是研究系统的技术科学,由于系统的普遍性,这些技术科学不是以客观世界的某种物质结构及其运动形式为研究对象,而是从许多物质结构及其运动形式中抽出某一特定的共同方面作为研究对象,其研究对象横贯多个领域甚至一切领域。因而,它们也称之为横断科学(cross science),意指它们是在概括和综合多门学科的基础上形成的一类学科。横断科学覆盖面广,对许多具体学科起到方法论的作用,从而成为科学转向(从分析向综合转向)时期从理论、概念和范畴上丰富与发展哲学,提供强大的动力。

控制论、信息论、系统论、运筹学等新兴的技术科学就是横断科学的代表,它们的勃兴表明了科学转向时期的到来。

1. 控制方法

控制是一种系统现象,是系统功能。控制论是在对自动控制、电子技术、无线电通信、神经生理学、数理逻辑、统计力学等多种科学和技术综合利用的基础上,把动物的目的性行为赋予机器,将动物和机器的某些机制加以类比,从中抽象出一切通信和控制系统所共有的特征,加以概括和综合,进一步研究出一整套对各种通信和控制问题都适用的思想和技术,从而产生与形成起来的。

控制系统的功能是系统的整体涌现性，还原到它的组成部分系统的整体功能是发挥不出来的。控制论创立者美国数学家维纳（1894～1964年）是从哲学对主体与客体的关系的观点来研究控制问题的。他认为，从伽利略和牛顿以来，自然科学研究的对象是客观存在的自然界的物质运动，不同的学科研究物质运动的不同的形式，揭示物质运动的客观规律性。在自然科学中显然没有认识主体的能动性问题。

然而，控制是主动的、有目的的行为，是认识主体的能动性的表现。所谓控制就是施控主体采取一定的策略手段作用于受控对象，使其行为发生指向目的的变化，从现在的状态转变为期望的未来状态。在人类一切有目的的实践活动中都离不开控制，因此如何科学地描述目的？这是控制的关键。从系统观看来，首先要区分系统的行为和系统的目的性行为：系统的行为是系统在外界作用（输入）下所作的反应（输出）；而系统的目的性行为则是指系统的行为是有目的、有意识的，是按照人们预定的目标进行的。目的性行为总是通过信息的交换实现的，因为外界环境的改变对系统来说就是一种信息输入，而系统对输入作出的反应就是信息的输出，因此，任何系统要保持或达到一定目标，就必须通过信息传递、变换与处理，影响系统的输入和输出，所以，系统的信息过程就是系统的控制过程。控制的关键是应用反馈方法：

反馈是控制论的基本概念与基本原理。所谓反馈是将系统的输出信息，经过变换后，再返回输入端，对系统的输出施加影响的过程。反馈又分正反馈和负反馈：正反馈是反馈信息与原信息起相同的作用，使总输入增大，系统目标偏离加大，系统不稳定加剧；负反馈是反馈信息与原信息起相反的作用，使总输入减小，系统目标偏离减小，系统趋于稳定。负反馈是控制论的核心问题。

由此可见，控制的基础是信息，控制过程就是控制信息的传输、变换、加工、处理过程。控制论突破了近代自然科学的两大局限性：一是它只研究物质运动的客观规律性，不涉及认识主体的目的性问题；二是它的规律是线性的、决定论的因果律。控制论在科学研究的观点与方法上的重大突破在于：控制是主动的、有目的的、策略性的行为，是有机体应付环境的一种活动；控制过程是输入与输出的相互转化，即原因与结果的相互转化过程，其中反馈概念起关键作用。通过信息的反馈是一种统计的因果联系，于是在一切具有反馈机制的系统中，原因与结果的绝对对立消失了；牛顿物理学严格决定论的世界图景被统计决定论的世界图景取代了。

2. 信息方法

系统无处不在，信息也无处不在，信息反映事物运动的状态和状态改变的方式，它把机器系统、人类社会、生命现象和思维等领域里的具体对象及其运动形式，抽象为信息变换和信息流的流动，因此，信息研究与系统研究同样是横贯多个领域

甚至一切领域的。

信息论的产生，得益于20世纪20年代奈奎斯特与哈特莱对通信系统传输效率问题的研究。被称为“信息论之父”的香农于1948年发表论文《通信的数学理论》，是现代信息论研究的开端。香农用概率论和数理统计方法，从量的方面来研究系统的信息如何获取、加工、处理、传输和控制。在此基础上形成的信息论，是一门用数理统计方法来研究信息的度量、传递和变换规律的技术科学；主要是研究通信和控制系统中普遍存在着信息传递的共同规律以及研究最佳解决信息的获限、度量、变换、储存和传递等问题的基础理论。

从信息与系统的相互关联来看，信息论就是运用信息的观点与方法研究系统，可以分为三个方面。

第一方面是从哲学世界观与方法论对信息的本质的认识，这可以从三个角度来理解①：

① 从本体论的角度，信息是标志客观物质系统存在和运动的基本属性，任何事物和过程都会发送信息，并以此标志它的存在。

② 从认识论的角度，信息是指认识主体所感知或所表达的事物运动的状态和方式。人们接收到的新知识越多，消除不确定性的程度越大，我们就说信息量大，否则就认为没有信息或信息量小。

③ 从方法论的角度，信息是指研究和控制事物和过程的手段，按照信息传递的事物运动的状态和方式来调整或改变事物原来的运动的状态和方式。所以，控制过程也就是信息的获取、加工、处理和传输的过程。一切系统要保持一定结构、要实现其功能都离不开信息。

总之，信息虽然不是物质，也不是能量，但它是物质的基本属性。但信息的属性是很特殊的，信息的特殊性在于：它和它所表征的事物是可以分离的。这一点对认识论极为重要，由于这种可分离性，所以：

① 人们可以不直接接触某物而获取它的信息。

② 同一信息可以有不同的载体，可以用不同的系统进行传输、加工、存取。

③ 事物虽然已经不存在，但有关它的某些信息可以长期保存下来。

④ 事物虽然尚未产生，但人们可以用符号系统设计出它的信息形态，然后利用科学技术手段把它建造出来。

⑤ 根据现在的充分的信息，人们能够立足现在，回顾过去，展望未来。

第二方面是从科学的角度，研究如何获取系统的信息（组分、结构、功能、环境等的信息，以及环境如何与系统互动的信息），如何对信息加工处理，如何利用信息进行决策、设计、操作、控制等。现代科学技术把这些信息称之为数据、资料、概念、

① 钟义信. 信息科学原理. 北京：北京邮电大学出版社，1996：4～7.

命题、原理等。因此，各门科学技术都需要运用信息的理论和方法。科学技术信息化是现代科学技术发展的一个趋势。

第三方面也是从科学的角度，撇开研究对象所涉及的物质运动和能量转换问题，只把它看成信息的运作(信息的获取、加工、存储、传输)，用信息论的概念与方法研究系统各个方面的问题。这方面的研究称为信息论。

信息与控制密不可分，为了正确地认识并有效地控制系统，必须了解和掌握系统的各种信息的流动与交换。有效控制的关键是施控者制定正确的控制策略和指令，去改变受控者的行为。这就需要施控者根据获取的信息发出指令，它们能被受控者识别和接受。所以，控制实质上是施控者与受控者的信息沟通、转换和利用的过程。

信息论在科学发展史上的重大突破，体现在以下几点上：第一，在研究对象上，信息论的研究对象是信息，信息不是物质，也不是能量；第二，在研究方法上，信息论用数理统计方法来研究信息的度量、传递和变换规律；第三，从方法论上看，信息论用统计决定论取代机械决定论，突破了近代自然科学中因果决定论思想的统治地位；第四，在认识论上，信息的可分离属性，可以为阐明“物质变精神，精神变物质”的马克思主义认识论原理，提供科学的依据。

3. *运筹方法*

作为一门技术科学的运筹学，是实现有效管理、正确决策和现代化管理的重要方法之一，它是 20 世纪 40 年代初发展起来的一门新兴学科，在第二次世界大战期间英美两国应用运筹方法成功地解决了许多重要的、有组织的军事运筹问题。战后发达国家把运筹方法应用于经济活动和企业管理中。运筹学以整体最优为目标，从系统的观点出发，力图以整个系统最佳的方式来解决该系统各部门之间的利害冲突。可以认为，运筹方法就是把系统方法数量化，它把与系统有关的策划、管理方面的问题，归纳成为反映系统机制和性能的数学方程组，即数学模型，然后在约束条件下求方程组的解，得出答案，为组织系统的各种经营作出决策提供强有力的科学手段。后来运筹方法进一步运用于研究系统工程中的人力、物力与财力的合理筹划和运用，寻找管理及决策最优化的综合性学科，从而运筹学成为系统工程的建模原理、方法的技术科学。

运筹学的应用领域十分广阔，它已渗透到诸如服务、库存、搜索、人口、对抗、控制、时间表、资源分配、厂址定位、能源、设计、生产、可靠性等各个方面。在处理这些千差万别的问题时，它的研究过程一般包括四个步骤：一是确定目标，二是制定求解方案，三是建立模型，四是制定解法。

随着科学技术和生产的发展，运筹学已广泛渗入到经济、政治、军事、教育等领域，发挥了重要的作用。与此同时促进了运筹学的发展，由于所处理的问题不同，

运筹学中形成了几个分支学科，如：数学规划（又包含线性规划、非线性规划、整数规划、组合规划等）、图论、网络流、决策分析、排队论、可靠性数学理论、库存论、对策论、搜索论、模拟等。由于其理论上的成熟，电子计算机的问世，运筹学成为系统研究必不可少的一门技术科学。

从辩证法的观点看来，运筹学是实现统筹兼顾、全面规划、局部服从整体等原则的科学理论。第一本运筹学著作《运筹学方法》莫尔斯和金博尔把它定义为："为领导机关对其控制下的业务活动作出决策而提供定量根据的科学方法。"

运筹学与自然科学是有重大区别的，我国著名科学家许国志明确指出：事物总有其一定的规律，物有物理，事有事理①。自然科学研究"物"的规律，运筹学研究"事"的规律，因此，运筹学回答"做什么？"与"如何做？"的问题，它研究如何把一件事尽量做好，也就是优化，这是事之常理。在这个意义上运筹学是处理事理问题的最优化理论。

5.2.4 系统科学：综合的理论

科学整体化方向的一个标志，是从系统的角度对"系统"进行研究，这样，就把长期以来分门别类的科学研究转向综合的、系统的整体研究。系统科学的产生，是20世纪20～40年代一般系统论把系统观与系统方法作为科学研究的"范式"开始；接着是40年代系统工程与系统的技术科学（控制论、信息论、运筹学、博弈论）等学科的正式成立。在这个过程中，自然科学家从不同的角度对"系统"进行基础研究，产生并形成了一个新的科学门类系统科学。按照钱学森的观点，系统科学属于基础科学层次；通过它的理论与方法可以整合和统一现代科学技术的各个领域；系统科学的认识论与方法论标志着科学发展整体化时期的认识论与方法论。

现代自然科学对"系统"的基础理论研究主要有以下成果：

1. 系统形成的条件——耗散结构论

19世纪存在着两种对立的发展观：一种是以热力学第二定律为依据的退化观，它认为，由于能量的耗散，宇宙趋于"热寂"，结构趋于消亡，无序度趋于极大值，整个世界随着时间的进程而走向死亡；另一种是以达尔文的进化论为基础的进化观，它指出，自然界进化的结果是物种不断分化、演变而增多，结构不断复杂而有序，功能不断进化而强化，整个自然界都是向着更高级、更有序的组织结构发展。

普利高津在物理学与生物学之间的冲突中，开创了耗散结构论这一新的研究领域②。他通过对非线性不可逆热力学的长期研究，提出耗散结构论，它是关于耗

① 许国志．论事理．见：系统工程论文集．北京：科学出版社，1981.

② 湛垦华，沈小峰．普利高津与耗散结构论．西安：陕西科学技术出版社，1982：13.

散结构的性质、作用、形成、维持与演化规律的理论，是用热力学和统计物理学的方法，研究耗散结构形成的条件、机理和规律的理论，也是一种新的关于非平衡系统自组织的理论。耗散结构论证明：无论是生命物质还是非生命物质，都应该遵循同样的自然规律。

耗散结构是在远离平衡的非线性区形成的新的稳定的宏观有序结构，这种结构的稳定性是怎样产生的？普利高津的研究揭示了耗散结构的自组织过程，这就是：一个远离平衡态的非线性的开放系统通过不断地与外界交换物质和能量，在系统内部某个参量的变化达到一定的阈值时，通过涨落，系统可能发生突变即非平衡相变，由原来的混沌无序状态转变为一种在时间上、空间上或功能上的有序状态。这种新的稳定的宏观有序结构由于需要不断与外界交换物质或能量才能维持，因此称之为"耗散结构"(dissipative structure)。系统自己走向有序结构，就是系统自组织，因此耗散结构论可称为系统的自组织理论。

从耗散结构论看来，自然界的进化过程是自组织过程，它表现为一系列的各种动态的平衡过程，正是这种动态平衡状态的演化导致了水平愈来愈高的复杂组织的出现，因此客观世界的进化可以看做是动态平衡的发展过程，这样耗散结构论填平了物理世界与生物界之间的鸿沟，并且证明了在物理世界中也广泛存在着复杂性的特征。

2. 系统形成的机制——协同学

协同学是 20 世纪 70 年代初联邦德国理论物理学家哈肯创立的一种系统自组织理论。哈肯提出的问题是[①]：客观世界从自然系统到社会系统，千姿百态，结构精密，结构的各个部分巧妙地在协同工作，这些结构究竟是怎样产生的？是什么力量在起着作用？哈肯试图用科学的方法说明结构是怎样自发形成，换言之，是怎样把自己组织起来的。

经典科学用的是还原论的观点与方法，它把整体分解为其组成部分，并逐个作出分析。哈肯用一般系统论的观点与方法，研究各组成部分之间的相互作用。显然，协同学不同于经典自然科学，它研究的是各种不同系统从无序到有序的演化规律的一门新兴的综合性学科。在协同学中最先引入了自组织概念，并试图在统计物理学和非平衡态物理学的基础上揭示有序结构自发形成的原理，阐明大量子系统何以能够通过合作行动产生宏观尺度上的结构与功能的。

一个复杂系统在外参量的驱动下，并在子系统之间的相互合作、协同行动中，能够以自组织的方式在宏观尺度上形成有序的空间结构、时间结构或功能结构，这就是"协同导致有序"，其过程与机制如下：

---

① 哈肯. 协同学——自然成功的奥秘. 上海：上海科学普及出版社. 1988：1，2.

在系统演化过程中，系统的状态参量随时间变化，它们的快慢程度各不相同。当系统逐渐接近于发生显著质变的临界点时，变化慢的状态参量的数目就会越来越少，有时甚至只有一个或少数几个。这些为数不多的慢变化参量其特点是稳定持久，能够对变化快的状态参量进行综合集成，促进系统的有序化程度，所以称之为序参量。至于那些为数众多的变化快的状态参量则是由序参量支配，并可绝热地将他们消去。序参量在系统中起支配一切的作用，这一原理称之为支配原理，它是协同学的基本原理。序参量随时间变化所遵从的非线性方程称为序参量的演化方程，是协同学的基本方程。

序参量和支配原理表明：序参量是系统内部自组织地产生出来的，它一旦产生，就在系统的相互作用中取得支配地位，成为系统内部的他组织者，去支配其他子系统，转化为一种他组织力量。由此看来，协同学是一种自组织与他组织相结合的系统理论。

3. 系统演化的动力——超循环理论

西德生物学家艾根从生物机体的快速化学反应中，产生了探索核酸和蛋白质的起源及其相互关系的兴趣，自然地由此转向生命起源问题的探索，他综合现代科学技术新成果，把生命起源作为一种自组织过程，建立起超循环论。

在生命起源和生物进化的问题上，唯物辩证法认为，事物的变化发展过程是连续与间断的统一，渐变与突变的统一。艾根研究这个问题的观点是：一方面坚持达尔文用变异解释生物进化的主张，另一方面认为，突变是一个不可或缺的概念。这就是说，生命起源和生物进化是分阶段进行的：在同一个阶段内，是渐变；从一个阶段到相继的阶段是突变。按照这个观点，艾根把进化过程划分为三个阶段：化学进化阶段、分子进化阶段和生物进化阶段。

艾根把研究重点放在分子进化阶段，把它设想为反复出现并反复克服危机（组织、信息、能量、复杂性、适应性等危机）的过程。每克服一种危机，就把进化推进的一个新的水平，而出现超循环则是克服危机的关键。

艾根把生命起源归因于物质的自组织。自组织是一种系统行为，它揭示从化学分子到生命细胞的进化机制。系统的最重要的是整体突现性原理，即整体大于部分之和。根据这一原理，艾根认为生命必定是在物质进化过程的特定阶段上突现出来的系统整体的新质。

艾根认为，系统由于耦合的方式不同，其性质和行为也不同，从分子（化学系统）进化到细胞（生命系统）的过程中，究竟是什么耦合方式起决定性作用？他提出，由于这是一个多步进化的过程，需要与多层次循环耦合机制来保证。系统的循环结构分为三个层次：第一是转化反应循环，在整体上它是个自我再生过程；第二是催化反应循环，在整体上它是个自我复制过程；第三是所谓的超循环（hypercy-

cle),超循环是指催化循环在功能上循环耦合联系起来的循环,即催化超循环。

艾肯在分子生物学水平上,把生物进化的达尔文学说通过巨系统超循环论,进行数学化,建立了一个通过自我复制、自然选择而进化到高度有序水平的自组织系统模型,以解释多分子体系向原始生命的进化。这个理论把系统科学的研究推进了一大步,开创了分子系统生物学的研究领域。

4. 系统演化的途径——突变论

1972 年突变论的创始人法国数学家雷内托姆,发表了《结构稳定性和形态发生学》一书,系统地阐述了突变理论,它的出现引起了科学界的重视,被称之为"是牛顿和莱布尼茨发明微积分三百年以来数学上最大的革命"。

在自然界和人类社会中,存在着两种相互区别、相互联系的变化过程:一种是渐变的和连续的变化。在近代科学时期,自然界许多事物的连续的、渐变的运动变化过程,都可以用微积分的方法给出圆满的解释。例如,地球绕着太阳运行,按照数学规律周而复始地连续不断进行,使得人们能及时精确地预测它未来的运动状态。另一种是突然的和跃迁的变化,如水的沸腾、岩石的破裂、桥梁的崩塌、地震、细胞的分裂、生物的变异、人的休克、情绪的波动、战争、市场变化、经济危机等,都是突然爆发的现象。需要发明新的数学方法。突变论就是试图从数学方面研究突变过程,研究从一种稳定态跃迁到另一种稳定态的数学规律,通过形象而精确的数学模型对连续性中断的质变过程进行描述和预测。

从突变论的奠基著作可以看出它的基本要点和发展方向,可简要概括如下:

突变论研究的观点:用开放的、动态的、历史的观点看系统,把生物形态的发生归结为系统的演化。

突变论研究的问题:从生物学切入,研究生物形态渐变导致突变的机制。结构的稳定性是突变论的基础,结构稳定性反映的是同种物体在形态上千差万别中的相似性。例如,人的面貌虽因岁月流逝而发生变化,但仍存在区别于他人的特征。结构稳定性的丧失,就是突变的发生。

突变论研究的方法:突变论的基本概念是静态模型,它把形态按结构稳定特征分类。至于描述结构变化的动力学理论,至今仍不完备。突变论的基本方法是用一组参数来描述系统所处的状态。当系统处于稳定态时,标志该系统状态的某个函数就取唯一的值。当参数在某个范围内变化,该函数值有不止一个极值时,系统必然处于不稳定状态。托姆指出:系统从一种稳定状态进入不稳定状态,随参数的再变化,又使不稳定状态进入另一种稳定状态,那么,系统状态就在这一刹那间发生了突变。突变论给出了系统状态的参数变化区域。托姆的突变理论,就是用数学工具描述系统状态的飞跃,给出系统处于稳定态的参数区域,参数变化时,系统状态也随着变化,当参数通过某些特定位置时,状态就会发生突变。

突变论与耗散结构论、协同论一起，在有序与无序的转化机制上，把系统的形成、结构和发展联系起来，成为推动系统科学发展的重要学科之一。

系统科学技术从诞生到发展，再到深入，经过了半个多世纪，表明了科学发展的转向时期已经到来，必须在认识论与方法论上，进行伟大的革新，这一任务落在正在进行社会主义现代化建设的中国学者的身上。以钱学森为首的一大批学界同仁，肩负这一历史重担，他们经过二十多年孜孜不倦的努力，在这一领域中作出了独创性的贡献，并把它的理论与方法应用到中国发展面临的复杂性问题上，取得了众所公认的成就。

参考文献

贝特朗菲. 一般系统论：基础，发展和应用. 林康义，魏宏森等译. 北京：清华大学出版社，1987.

哈肯. 协同学——自然成功的奥秘. 上海：上海科学普及出版社，1988.

马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971.

马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1971.

湛垦华，沈小峰. 普利高津与耗散结构论. 西安：陕西科学技术出版社，1982.

钟义信. 信息科学原理. 北京：北京邮电大学出版社，1996.

第六章　钱体系是科学整体化发展方向的认识论与方法论

关于现代科学技术革命，经济学家、社会学家、未来学家们普遍关注的问题是：以信息革命为核心的高新技术群所引起的社会、经济、文化等的急剧变动，将把人类社会带向何处？于是霎时间《第三次浪潮》、《大趋势》、《后工业社会的来临》等未来学之作几乎成为人手一册的畅销书。至于这场以“系统”为范式、标志着从分析向综合转向的科学技术革命，它在世界观、认识论、方法论与价值观上带来的深刻变革，目前虽然在哲学与科学的领域中进行，但是它对人类的思维方式、研究方式、工作方式，究竟带来何等深远的影响？有识之士甚少。举世闻名的战略科学家钱学森独具远见卓识，他站在马克思主义哲学的高度，分析了科学技术发展的历史进程，概括总结了他在尖端科学技术领域作出的巨大成就，敏锐地洞察到：以“系统”为范式的新的科学技术革命，将为科学技术的综合化与整体化研究提供新的方法。在科学技术发展转向整体化的关键时刻，钱学森认为，必须继承与发展恩格斯一百多年前提出来的两个十分重要的思想：一个是在科学分门别类发展的基础上，建设“一个伟大整体的联系的科学”①；另一个是随着经验自然科学积累了数量庞大的实证的知识材料，理论自然科学只有“复归到辨证的思维”②，才能为自然界中所发生的发展过程，为自然界中的普遍联系，为从一个研究领域到另一个研究领域的过渡提供类比，并从而提供说明方法。因此钱学森提出：在现代科学技术发展转向整体化的新形势下，适应社会主义现代化建设面临复杂多变问题的需要，如何把系统科学的思想方法付诸于认识世界与改造世界的具体实践中，克服长期以来分门别类的科学研究方法带来的局限性，这是我们时代中国哲学家、科学家、技术专家、工程师们必须回答的重大课题。

6.1　系统工程方法是工程技术层次上的综合集成

系统工程方法是钱学森在马克思主义哲学指导下，吸取了国外科学、技术与工程的新成果，结合自己多年从事的航天工程技术的理论与实践，自主创新地提出的。系统工程方法是科学整体化时期认识论与方法论的创新。这一任务历史地落

---

① 马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1977：241.

② 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：384.

在钱学森身上绝不是偶然的，有它的时代背景。

6.1.1 钱学森在系统工程领域中深厚的理论功底与丰富的实践经验

20世纪50年代中至70年代末，钱学森的主要精力集中在开创我国火箭、导弹和航天事业上。航天科学、技术与工程具有高度的综合性，需要应用自然科学中多种学科和技术，并将之综合集成到工程实施中。在以两弹一星为代表的大规模科学技术工程中，如何把成千上万人组织起来，以较少的投入在较短的时间内，研制出高质量的和可靠的产品来，这是一个迫切需要解决的问题。钱学森正是在开创我国航天事业的伟大实践中，在理论与实践的结合上，在吸收国外有关成果的基础上，以他勇于探索与勇于攀登的精神，独立自主地创建了既有中国特色又有普遍意义的组织管理的科学方法——系统工程方法。它把科学技术创新、组织管理创新与体制机制创新有机地结合起来，在马克思主义哲学指导下，实现了综合集成创新，走出了一条发展我国航天事业自主创新的道路。

20世纪70年代末，钱学森从科研一线领导岗位上退下来，时值系统科学革命浪潮汹涌澎湃地冲击着我国思想学术界，他以其敏锐的洞察力，随即把主要精力投入到系统工程的推广和系统科学的探索和研究上。在这个过程中他首先致力于创建现代科学技术体系结构，并根据现代科学技术的新发展，应用系统思想与系统方法，对现代科学技术认识过程作出了独到的论述，指出了按照从实践到认识的观点，它应该分为“工程-技术-科学”三个层次，这是钱学森在科学技术认识论、方法论上的重大创新。

6.1.2 钱学森对传统的工程方法的分析、概括与总结

传统的工程方法是在近代自然科学的基础上产生、形成与发展起来的，因而钱学森在创建系统工程方法的过程中，必然要对近代自然科学的认识过程与认识方法作出分析、概括与总结[①]。他深刻地指出：

15世纪下半叶，近代自然科学开始兴起，力学、天文学、物理学、化学、生物学逐渐从混为一体的哲学中分离出来，获得日益迅速的进步。近代自然科学的发展同它研究自然界的方法是分不开的，这就是对自然界进行研究的分析方法，其中包括实验、解剖和观察。这一方法的特点是：把自然界的细节从总的自然联系中抽出来，分门别类地加以研究。这种考察自然界的方法被培根和洛克移植到哲学中，就成为孤立、静止、片面的还原论分析方法。还原论分析方法对科学的发展无疑是十分必要的，它深入地、细节地考察事物，比起古代自然哲学直观的、思辨的认识是一大进步；但是，由于这一方法撇开了整体的联系来考察事物和过程，这就堵塞了从

① 钱学森. 论人体科学与现代科技. 上海：上海交通大学出版社，1998：290.

了解部分到了解整体、到洞察普遍联系的道路。

19 世纪，自然科学取得了一系列重大成就，特别是能量转化、细胞和进化论的发现，使我们能够依靠经验自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰的图画。自然科学发展的新成就使我们又回到了古希腊哲学的辩证法观点：整个自然界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体，它处于无休止的运动和变化中。普遍联系、相互作用与整体性的思想，也就是系统思想。但是，从牛顿力学以来四百多年占统治地位的还原论分析方法，仍然牢固地占据着人们的头脑，在科学、技术与工程的研究与实践中，都是先分解，后整合，都是只有 1＋1＝2，缺乏有机整体的观点。应该指出，还原论分析方法对简单系统是适用的，甚至对简单巨系统也是适用的，但是有很大的局限性。

6.1.3　20 世纪出现了革新传统工程方法的要求

20 世纪科学技术发展出现了新的形势：一方面是以“一般系统论”的提出为标志的系统科学迅速兴起，接踵而来的是系统科学的技术科学迅猛发展，系统思想与系统方法成为公认的思想方法。它在科学的思想方法上的重大革新表现在：使系统思想方法定量化，成为一套数学理论，它能够定量地处理系统中各个组成部分之间的关系；电子计算机为定量化系统方法的实际应用提供了强有力的计算工具。

另一方面是科学技术社会化，这表现在：第一，科学技术活动从个体的手工业方式，转变为大规模的大工业方式，发生了科学技术从小科学、小技术、小工程向大科学、大技术、大工程发展。这个重大的转变以 1942 年 美国曼哈顿工程的研制为标志。第二，科学技术活动沿着两条途径向产业化方向发展：一条途径是新的科学技术成果导致新的产业的形成，如集成电路产业、软件产业等；另一条途径是科学技术活动产业化，现代大企业、大公司都设立专门的研发部门；国家都设立科研机构；发达国家都纷纷建立国家创新体系。

在科学技术发展新形势下，要求系统思想方法不仅能定性，更重要的是能定量。第二次世界大战是定量化系统方法发展的里程碑。战争在方法和手段上的复杂程度有很大的增长，双方都需要强调全局观念、从全局出发，合理使用局部并最终求得全局效果最佳的目标。现代战争的新形势，迫切要求变革传统的工程方法。

6.1.4　钱学森对系统工程方法的自主创新

系统工程方法既是现代科学技术发展的要求，同时又是钱学森根据自己从事火箭、导弹和航天事业的理论与实际，在马克思主义哲学指导下的重大创新，它既是从总体上改造客观世界的工程技术实践，又是组织管理工程活动的方法，具体地说，是组织管理“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法。系统工

程方法克服了传统的工程方法的局限性：

（1）系统工程方法是具有普适意义的科学方法

钱学森自主创新的系统工程，超越了西方的管理科学技术，后者原来是从企业的经营管理的需要中发展起来的。在钱学森的系统工程方法中，“系统”是由下列六个要素组成[①]的：人、物（物质、设备与资金）、事（任务指标与信息——数据、图纸、报表规章、决策等）。因而，他所说的“系统”，不仅适用于企业、机关、学校、医院、后勤等部门，还特别适用于现代社会进行的巨大的自然工程和社会工程，总之，无论工程的大小不同，工程所属的部门有别，工程作为一个由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的、具有特定功能的有机整体，对之进行组织管理都需要应用系统工程的方法。

（2）系统工程方法深化与发展了传统的“工程”概念

在传统的“工程”概念中，主要是硬工程，是把自然科学技术的原理应用于工程实践，设计、制造出新产品或新工艺的过程。钱学森的“系统工程”方法则不仅包括工程的“物理”，而且包括工程的“事理”，事理是专门研究工程实施过程中各种运行的条件和法律、法规，目的是使工程运行优化。特别重要的是“系统工程”方法还包括工程的“人理”，因为工程之所以是特殊的复杂系统，全在于有自我意识的人参加，工程人员对工程的成败具有决定性的作用，因此必须重视“人理”。

（3）系统工程方法是科学从潜在生产力转化为现实生产力的方法

从现代科学技术认识过程的三个层次看，系统学是在基础科学层次上，从系统的观点去研究客观世界，系统工程方法则是在技术科学层次上，为从基础科学（潜在生产力）向工程技术（现实生产力）转化提供方法论，按照“实践-认识”循环往复，螺旋形上升的规律，三个层次之间的关系如下：

认识世界——中间环节——改变世界

系统科学——系统技术——系统工程

中间环节是系统科学的技术科学，如运筹学它包括线性规划、非线性规划、博弈论、排队论、库存论、决策论、搜索论等；系统工程包括各门科学或各种行业的系统工程，如：教育、行政、法学、社会、环境等系统工程，以及农业、工业、制造业等系统工程。

（4）系统工程方法的理论基础是科学整体化时期兴起的横断科学

系统工程的技术科学是为从总体上改造客观世界的工程技术实践提供理论基础的，它通过对工程技术实践中所用的设计原则进行整理和总结，揭示其共同性的东西，上升为理论[②]。具体地说，也就是从方法论的角度，把系统工程的设计研制、

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982：12.

② 钱学森. 工程控制论. 北京：科学出版社，1958：序.

组织管理和操作使用中广泛使用的设计原则、管理原则、操作原则加以整理和总结，揭示出它们的共性。一般说来，在系统工程中的共性问题，大致上可以归结为通信(包括信息处理和信息传递)控制和运筹决策三大类，因而它的技术科学主要是信息论、控制论与运筹学，它的主要问题是增强系统的功能，提高系统的效益，扩大系统的用途。

(5) 系统工程方法是一场新的技术革命

传统工程方法引发了18世纪末的工业革命，但它只是关于"物理"的，而系统工程方法则是关于"物理"、"事理"、"人理"的，因而，系统工程的方法不仅包括物质科学与能量科学，还包括哲学、社会科学与交叉科学，这是方法论的一场伟大的革命，它充分体现在系统工程的基础理论与基本方法中，例如：

① 控制论方法。控制论强调要发挥认识主体的主观能动性。所谓控制就是主动的、有目的的、策略性行为；而控制论方法则是研究系统为实现某个目的所具有的能力，以及如何加以控制来达到目的的方法。目的性是一切工程中具有决定意义的因素，因而控制论方法是系统工程中基本的、不可或缺的方法。当然，在工程活动中，发挥主观能动性以实现目的，是在一定的约束条件下发挥的，是以遵守客观规律为前提的。

② 运筹学方法。传统工程活动中的自然科学，以自然界的物质与能量为研究对象，是关于物理的科学，它揭示物质运动的规律性，回答"是什么"和"为什么"的问题，它提供的是问题的答案；系统工程活动中的运筹学，以人们办事的规则与规律为研究对象，是关于事理的科学，它提供的是办事的策略，回答"做什么"和"怎么做"的问题。运筹学的问题是通过定性谋划和定量计算，制定出方案，它包括"系统工程的特殊数学理论。"[①]系统工程方法是从定性到大量综合集成法，不能没有定量的运筹学方法。

③ 信息论方法。它建立在统计思想的基础上，把信源的可能消息看作随机事件，把发送消息的过程看作随机过程，把信息概念定义为消息发生概率的函数。这样它就用统计决定论突破了机械决定论的统治地位。信息论主要是从两个方面对系统进行研究：一方面是如何获取系统的信息(包括系统的组分、结构、功能、特性、行为、环境以及系统与环境互动的信息)；另一方面是如何对获得的信息进行加工处理，使系统更有效地运行。因而，信息论方法对工程的设计、操作、控制，并对所提的方案进行决策，起着十分重要的作用，这是系统工程方法与传统工程方法的根本区别。

在系统工程方法这场新的技术革命中，钱学森创造性地、孜孜不倦地进行研究，大力倡导，从20世纪50年代中期开始，团结了一大批科学家、技术专家、工程

---

① 钱学森，等.论系统工程(增订本).长沙：湖南科学技术出版社，1988：178.

师、技术人员，通过讨论、交流、学会活动，从理论与实践的结合上，使得系统工程方法终于在中国的土地上生根成长，到70年代臻于成熟。正是在中国发展战略重点转移到社会主义现代化建设的重大历史时刻，钱学森等发表了《大力发展系统工程，尽早建立系统科学的体系》这篇重要的文章，对系统工程的观点、理论与方法进行了全面的、深入的论述。他特别强调指出，用系统工程方法可以解决的问题涉及社会主义现代化建设的各个方面，由此而引起的社会变革绝不亚于120多年前的工业革命，因为系统工程方法是传统的工程方法的一项伟大的创新，它必然会改变整个社会的面貌①。

在钱学森的指导与支持下，系统工程方法的应用几乎遍及中国现代化建设的各个领域与各个方面，其中最令人注目的有：

① 社会系统工程。由国务院发展研究中心牵头，西安交通大学等国内重点高校和科研单位参与，运用系统工程方法共同对“2000年的中国”进行了系统的研究。

② 经济系统工程。在国家“863”智能计算机组的支持下，中国航天工业总公司710所、中国科学院自动化研究所、华中理工大学系统工程研究所三方联合进行了宏观经济智能决策支持系统的研究与开发。

③ 环境生态系统工程。在三峡工程论证过程中，应用系统工程方法，对这一工程建设对我国经济发展的影响、国家财政承受能力、水土保持、环境保护、人口迁移、工程项目建设组织等方面进行了系统的分析研究，为三峡工程的最终决策提供了丰富的、现实的决策参数报告。

此外还有区域规划、能源、人口、教育、科技、军事、农业、企业、交通运输等系统工程的研究与开发。

6.2 开放复杂巨系统方法是基础科学层次上的综合集成

20世纪刚迈入90年代，钱学森站在战略科学家的高度，在系统工程方法蓬勃发展并取得巨大成就的基础上，适应科学向综合化、整体化方向发展的要求，开创现代科学技术发展的一个新方向、一个新领域——开放的复杂巨系统及其方法论，认为这是一个很大的新领域，是现代科学技术的一大部门。钱学森不仅从理论上作出深入的论述，而且从实践上、从一个个具体的复杂巨系统出发，如社会系统、地理系统、人脑系统、信息网络系统等进行具体的研究。

开放的复杂巨系统的理论与方法，是钱学森以近40年的时间集中精力，概括总结国外系统科学最新研究成果，加工提炼他组织领导国防科学的经验，提出来的

---

① 钱学森，等. 论系统工程(增订本). 长沙：湖南科学技术出版社，1988：185.

独树一帜的现代科学技术的认识论与方法论。

6.2.1 从简单性与复杂性的区分对系统进行分类

20 世纪 40 年代末贝特朗菲已经提出研究复杂性问题，预见到复杂性科学本质上是研究复杂性的科学。70 年代后，关于简单系统的理论已经很成熟，系统科学才转向以复杂性为主要研究对象。如何区分简单性与复杂性，并据此对系统进行分类？这是创立开放复杂巨系统首先需要明确的问题。

钱学森根据组成系统的子系统以及子系统种类的多少和它们之间的关联关系的复杂程度，把系统分为四大类①：

① 简单系统。只有一个层次的系统，它包含一个子系统或少数几个子系统，可以用牛顿力学理论刻画它的演化，它满足叠加原理。

② 简单巨系统。它的子系统数目很多，成千上万，它至少可以分成两个层次，因而系统的整体性质不能从子系统叠加得出，而会“涌现”出新的性质，两个层次之间一般不存在叠加原理。

③ 复杂巨系统。它的子系统不仅数目很多，而且十分复杂，这表现在：子系统有许多不同的种类；子系统的层次结构至少在两个以上；子系统之间的联系方式很复杂（如非线性、不确定性、模糊性、动态性等）。

④ 开放的复杂巨系统。开放的内涵包括：一是系统与环境有物质、能量、信息的交换，还能适应环境和进化；二是在分析、设计与使用系统时，要重视系统对环境的影响，把系统运行与保护环境结合起来考虑；三是系统不是一成不变的，而是处在不断运动、不断变化的过程中，会随时出现新现象、新问题。

明确系统的复杂性，对系统研究具有方法论意义，因为现代对复杂系统的研究，往往用还原论方法把复杂性还原为简单性。当对象是简单系统或简单巨系统时，还原论方法是可行的或近似可行的；但是，当对象是复杂系统时，还原论方法必然会把产生复杂性的根源简化掉，这就必须在方法论上有所突破。唯物主义的观点认为，认识论、方法论和世界观是分不开的，唯物主义的自然观，“不过是对自然界本来面目的朴素的了解，不附加以任何外来的成分”②。按照这个观点，非线性、远离平衡态、混沌、分形、模糊性等，都是自然界本来就具有的复杂性表现出来的面貌，因此，“把复杂性当作复杂性处理”就是复杂性研究的方法论原则，如果仍然把还原论方法应用于研究复杂巨系统，这就附加了主观的成分，歪曲了复杂性事物本来的面貌。

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：109.

② 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971：539.

6.2.2 开放的复杂巨系统概念

在复杂性问题的研究中，钱学森不同于普利高津、哈肯、艾根等的欧洲学派，也不同于圣菲研究所、集成科学现代研究所的美国学派，以他为核心独创地提出了开放的复杂巨系统的理论与方法，这是中国学派的一面旗帜。何谓开放的复杂巨系统[①]？对它的研究方法与现行的科学研究方法究竟有何本质的区别？钱学森认为，流行的科学研究方法主要适用于简单系统，当科学从分析转向综合时研究对象是复杂系统，如社会系统、人脑系统、人体系统、地理系统、宇宙系统、历史系统，等等，都是开放的复杂巨系统，要在方法论上有所突破，首先必须明确开放的复杂巨系统的概念，这是关键问题。对于何谓开放的复杂巨系统？钱学森作出了科学的论述：

① 开放的。系统不仅与周围环境有物质、能量、信息的交换，而且有对环境的适应与进化。

② 巨系统。系统包含的子系统很多，成千上万，甚至上亿万。

③ 复杂的。子系统的种类繁多，有几十、上百、甚至几百种。单纯用还原论的定量化、形式化方法来描述是远远不够的，必须从演化的、生成的、自组织的观点来理解，因为与复杂性有着不可分割的联系的等级层次结构是在演化过程中“涌现”出来的。

④ 多层次。从子系统到整个系统之间的系统结构有许多层次。如果只有一个层次，那么还原论的方法还是适用的。

6.2.3 开放的复杂巨系统方法

科学技术发展整体化的一个重要表现是，科学技术的社会化与社会的科学技术化。现代科学技术与社会发展紧密联系，它广泛地、深刻地影响着人类社会的各个方面，由此引发的复杂性问题层出不穷，诸如生态危机、金融危机、第五次产业革命、中国特色的社会主义现代化建设等问题，它们都是当前世界科学技术发展前沿的、事关人类命运与前途的重大问题。钱学森敏锐地把握时代的新动向，创造性地提出开放的复杂巨系统的理论与方法。

钱学森以马克思主义哲学为指导，根据现代科学技术革命的新发展，运用系统科学最新的成就，深入地探索开放的复杂巨系统的方法论，独创地提出了“从定性到定量综合集成方法”，把四百年来近代科学的研究方法提升到一个新的、更高的层次——复杂性科学的研究方法。

近代科学研究的一般过程是：

---

① 钱学森.论人体科学与现代科技.上海：上海交通大学出版社，1998：125，126.

第一步提出问题。主要是三类问题，即：事实与事实的矛盾、事实与理论的矛盾、理论与理论的矛盾。

第二步调查研究与问题有关的资料。主要是科学技术的理论、方法和有关的经验知识。

第三步针对问题进行分析、论证。主要是通过逻辑思维、形象思维与创造性思维进行分析与论证，寻求解决问题的方案或途径。

第四步提出经验性假设。在分析与论证的基础上，提出假设（如判断、猜想、方案、思路等）。然后通过逻辑推理、数学演算与反复多次的科学实验，以检验假设的真理性。

近代科学研究方法体现了从定性到定量的特点，它从原理出发，建立数学模型，应用数学方法或计算机技术进行计算，求得精确的定量解。

但是近代科学研究的对象是简单系统，甚至是简单巨系统。进入20世纪以来，人类面临的大多是开放的复杂巨系统，如与我们的生存、发展息息相关的社会，它就是一个特殊的开放的复杂巨系统，在研究社会发展这一复杂的问题时，提出的经验性假设往往是思辨的和定性的，如何解决从定性到定量的难题？以简单系统为对象的近代科学研究方法暴露出它的局限性。在这个关键的历史时刻，钱学森及其合作者提出从定性到定量综合集成法，在方法论上是重大的突破，其要点如下：

① 综合集成法的基础是：搜集与研究对象（系统）有关的情报、资料、数据及相关领域专家的实践经验。

② 综合集成法的过程是：从搜集得到的情报、资料、数据及相关领域专家的实践经验出发，从这些局部的、定性的知识出发，应用人机结合、以人为主的方法，充分利用计算机处理信息的能力，发挥人特有的智慧，实现信息与知识的综合集成。通过人机交互、反复对比、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，从而能对经验性假设的正确性作出明确的结论，得出研究对象（系统）的整体的定量的认识。

③ 综合集成法的组织形式是：综合集成研讨厅体系，它由下列三个子系统组成，按照系统原理组织和进行：

知识体系，包括各种科学理论、专家经验、情报资料、统计数据、常识性知识；

工具体系，以计算机为核心的多种高新技术的集成与融合所构成的机器体系；

专家体系，由与研究问题有关的专家组成。

这三个体系构成高度智能化的人机结合体系，它不仅具有知识与信息采集、存储、传递、调用、分析与综合的功能，更重要的是具有产生新知识和智慧的功能，既可用来研究理论问题，又可用来解决实际问题。

④ 综合集成法的执行机构是：总体设计部，它由工程的组织管理者组成，其人员由熟悉对象（系统）各方面专业知识的科技人员组成，由知识面比较广的专家负

责领导。总体设计部是现代科学技术的研究方式，它不同于近代自然科学的个体研究方式。

⑤ 综合集成法的方法论是：它的理论基础是思维科学，方法论基础是系统科学与数学，技术基础是以计算机为主的信息技术，哲学基础是实践论和认识论①。

钱学森从定性到定量综合集成方法，体现了开放的复杂巨系统方法论的重要特点，主要是：还原论与整体论结合、定性描述与定量描述结合、局部描述与整体描述结合、确定性描述与不确定性描述结合、系统分析与系统综合结合。

从哲学世界观、认识论与方法论看，钱学森对开放的复杂巨系统研究不同于国外的复杂性研究，他的自主创新精神鲜明地表现在以下两个方面：

① 坚持以唯物辩证法为指导。钱学森认为，开放复杂巨系统的研究是科学整体化时期的核心问题，必须用唯物辩证法来指导。唯物辩证法"是最重要的思维形式，因为只有它才能为自然界中所发生的发展过程，为自然界中的普遍联系，为从一个研究领域到另一个研究领域的过渡提供类比，并从而提供说明方法。"②所以，钱学森明确提出，复杂巨系统问题的研究，"首先是要唯物的，不要唯心的"③；其次要辩证地看问题，而不是机械唯物论，就是说，在方法论上"是整体论和还原论的辩证统一。"④

② 建立系统科学的哲学——系统论。哲学的发展从来都是与科学技术的发展紧密地相互联系与相互促进的，必须在系统科学与马克思主义哲学之间建立一座桥梁（部门哲学）——系统论：一方面马克思主义哲学通过系统论的观点、理论与方法，来指导系统科学的理论探索和实践活动；另一方面系统科学的理论与实践的哲学概括与总结，深化与发展马克思主义哲学。

6.3 "大成智慧工程与大成智慧学"是创造学方法论

20世纪90年代初钱学森就指出：我们已经从工程系统走到了社会系统，将来我们要从系统工程、系统科学发展到大成智慧工程——从定性到定量综合集成技术，它集信息与知识之大成，产生新思想、新方法，这就是创新，是方法论上的一个大飞跃，大发展，实际上就是把马克思主义的认识论、方法论与现代系统工程的方法结合，以此来解决我们面临的复杂性问题⑤。

---

① 许国志. 系统科学. 上海：上海科技教育出版社，2000：313.
② 马克思恩格斯全集（20卷）. 北京：人民出版社，1971：383.
③ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：430.
④ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：361，430.
⑤ 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：176，215.

6.3.1　关于创新能力的研究

在研究与处理复杂性问题的过程中，认识主体必须有创新精神与创新能力，这就要求从系统工程发展为大成智慧工程，并将这一工程进一步在理论上提炼成一门学问，就是大成智慧学，使人们不仅"有知识"而且能"用知识"，这实际上是马克思主义哲学的发展与深化①。

20 世纪初在科学技术最发达的美国兴起了研究创新能力的热潮，并迅速发展为一个专门的研究领域，称之为创造力研究(creativity research)。1950 年吉尔福特的《论创造力》、1953 年奥斯本的"头脑风暴法"或"智力激励法"，是公认的最有影响的成果。此后，在脑神经科学、认知心理学以及人工智能等新兴科学技术带动下，创造学迅速发展成为一门全球关注的重大研究领域。

钱学森创建的大成智慧工程与大成智慧学是我们时代的迫切需要，为社会主义现代化建设培养大批创新型人才，这是事关中华民族命运与前途的大事，因此，关于如何尽快提高人们的创新能力，以适应知识创新时代的需要，这是钱学森极为关注并着力探索与思考的课题。他所倡导的大成智慧工程与大成智慧学，就是希望培养一大批尽快获得聪明才智与创新能力人才，以适应创建创新型国家的需要。他认为这是一件大事，其意义不亚于当年两弹一星的研制与发射。大成智慧工程与大成智慧学的提出与创建，是钱学森在科学技术发展史上一项伟大的创举。

6.3.2　近代自然科学对创新过程的研究

在思想史上对思维的研究比较系统的和有重大影响的有四个方向：

① 逻辑思维的研究。它以概念、判断、推理、证明为对象，始自亚里士多德的《工具论》。

② 形象思维的研究。它以形状、声音、模型为对象，黑格尔的《美学》对此进行了比较全面的、系统的研究。

③ 辩证思维的研究。它以观点、理论、范畴为对象，在古代中、西方都已有之。19 世纪由马克思、恩格斯概括与总结哲学发展史与科学发展史，特别是批判分析了黑格尔辩证法的合理内核，奠定了辩证思维的科学基础，马克思把辩证思维的形式系统地应用于《资本论》的研究与创作过程中。

④ 创造性思维的研究。它是在前面三个研究方向中产生的，特别是由于近代自然科学四百多年来取得的辉煌成就，自然科学研究过程中的创造性思维，便成为研究创新能力产生与形成过程的范例，其研究成果是比较成熟并取得公认的。

17～19 世纪近代自然科学的发展过程就是不断创新的过程。自然科学的研

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：176，177.

究与探索，基本上是按照由培根与笛卡尔奠定其基础的科学方法发展起来的，它的认识过程是：从实验事实出发，运用归纳、分析等方法，得出具有普遍意义的科学原理或科学定律；然后，不仅用于解释经验事实，尤其重要的是用于预见新的事实，并通过实验来检验预见的真理性。可以把近代自然科学发展时期创新思维的过程表示如下：

$$\text{经验事实}\xrightarrow{\text{归纳逻辑}}\text{基本定律}\xrightarrow{\text{演绎逻辑}}\text{演绎推论}\xrightarrow{\text{实验}}\text{解释或证实}$$

19 世纪以来，著名科学家赫尔姆霍兹（1821～1894 年）、彭加莱（1854～1912 年）、阿达玛（1865～1963 年）等，根据他们自己的科学研究经验，总结出在科学研究过程中新概念、新假说的提出与形成的机制，经过后人进一步的研究与发展，把创新思维的过程概括为如下四个阶段：

① 准备阶段——问题的提出。首先以研究的问题为纲进行周密的调查研究，搜集与问题有关的研究成果，用已有的理论进行逻辑分析。

② 酝酿阶段——问题的求解。根据已有的理论和搜集到的事实，提出新概念、新假说，然后据以进行逻辑推理与实验检验。

③ 豁朗阶段——问题的突破。在百思不得其解的困惑中，豁然开朗，形成新观念、新思想、新方法，它突破了陈旧的观念，摆脱了思维定势的束缚。

④ 验证阶段——问题的解决。对新观念、新思想、新方法进行逻辑证明与实践检验。解决问题的方案是否能成功、是否有价值，只有经过实践检验、评价才能确定。

6.3.3 科学整体化发展的创造学方法论

20 世纪 20～70 年代，一场方兴未艾的、以“系统”为范式的科学革命向近代自然科学的认识论、方法论提出了挑战，系统科学在突破机械论、还原论框架中异军突起。钱学森指出：“辩证唯物主义所阐明的物质世界的普遍联系及其整体思想，也就是系统思想。系统是由相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体。”[①]系统科学就是从整体的观点出发，运用辩证方法即普遍联系与相互作用的方法，对自然界进行深入的、系统的研究，从此科学的发展进入了一个重大的历史转变时期——科学整体化时期。

科学整体化时期的创新思维，仍然需要在大量调查研究的基础上提出问题与分析问题，不同的是：一方面现代科学已经形成一个相互联系、相互作用与相互促进的整体，因而与研究的问题相关的信息与知识涉及的面非常广，所需的信息量非常大；另一方面现代科学研究的对象大多是开放的复杂巨系统，其中的子系统数量

---

① 钱学森，等. 论系统工程(新世纪版). 上海：上海交通大学出版社，2007：72，73.

大、种类多，并且有不同的层次结构，系统的参量之间的关系不能用研究简单系统的线性因果关系来描述。在开放的复杂巨系统面前，如何把通过网络获得的“死”的情报资料“激活”，使它成为可用的信息，这是钱学森提出大成智慧工程（即从定性到定量综合集成技术）的目的所在。

大成智慧工程就是把人的思维、思维的成果、人的知识、智慧以及各种情报、资料、信息统统集成起来。这实际上是把系统工程的方法应用到创新思维的过程中。从这个思路出发，钱学森提出创建思维科学，它的任务就是要研究如何加工信息，得到正确的认识和知识，以便进行创造性的思维，使人们在改造客观世界的过程中有所创造，有所前进①。钱学森的大成智慧工程，把马克思主义的认识论与现代系统工程的方法结合起来，这是方法论上的一个大飞跃，大发展。

从大成智慧工程向理论层次发展就是大成智慧学，它是马克思主义哲学的发展与深化，因为马克思主义哲学是智慧的结晶。知识是创新的基础，但要创新其关键在于有智慧。所以钱学森说：光有知识不行，还必须知道使用知识，创新知识；光有科学技术也不行，常常容易犯机械唯物论的错误。为了有所创造，有所前进，钱学森从技术层次的大成智慧工程上升到理论层次的大成智慧学，并从马克思主义哲学的高度，对科学整体化时期创造学方法论问题，提出了十分深刻的见解，并进行了独到的论述：

（1）理论思维是创新的前提

恩格斯指出：“一个民族想要站在科学的最高峰，就一刻也不能没有理论思维。”②而理论思维“是一种历史的产物，在不同的时代具有非常不同的形式，并因而具有非常不同的内容。”③马克思主义哲学代表了我们时代的理论思维，它是“智慧的结晶”④。马克思主义哲学所阐明的世界观、认识论、方法论与价值论，它的立场、观点与方法，是大成智慧学的核心，也是创造性思维的前提。

（2）形象思维是创新的关键

按照马克思的观点，人们的科学研究过程是从感性直观到思维抽象⑤，这就是：

实在和具体——整体的表象——抽象的规定——具体的再现

现实世界————形象——————概念——————理论

因为，人们认识世界一般总是从具体的事物开始，借用生动的、直观的形象把握事物的整体，然后通过抽象思维从具体上升到抽象。在这个过程中，感性具体侧

① 赵光武.思维科学研究.北京：中国人民大学出版社，1999：89.

② 马克思恩格斯全集（20卷）.北京：人民出版社，1971：384.

③ 马克思恩格斯全集（20卷）.北京：人民出版社，1971：382.

④ 钱学森.创建系统学.上海：上海交通大学出版社，2007：177.

⑤ 马克思恩格斯选集（2卷）.北京：人民出版社，1977：102～104.

重于形象思维，是借助形象认识世界的方式，属于“性智”。抽象思维侧重于逻辑思维，它从形象（完整的表象）上升为概念（抽象的规定），是借助概念进行思维的方式。逻辑思维是抽象思维，它抽象出事物的本质，属于“量智”。钱学森现代科学技术体系中的“性智”与“量智”之分，表明在科学研究过程中，艺术与科学技术之间的密切联系。

形象思维之所以是创新的关键，因为在研究问题的过程中，形象思维与抽象思维总是交织在一起的，二者不可分割；更重要的是，科学家、技术专家的研究经验表明，对问题的研究，经过长时间的艰苦探索后，往往是由于形象思维的启发作用，迸发出灵感，脑子里突然顿悟，新观点、新概念与新方法清晰地呈现在脑际，这就是创新。所以，钱学森把思维科学的基础科学加以扩大，在思维学之外加上信息学；在思维学的研究对象中又划分为逻辑思维、形象思维与创造性思维①。

（3）知识库是创新的基础

钱学森认为：在信息时代，信息与知识如汪洋大海，要把它们存储起来，才能成为一个随时可供使用的信息库。计算机网络实际上就是，社会系统中信息资源和信息流动方式上的高度组织化、社会化、集成化和规范化，使得信息资源得以充分开发利用和共享，极大地方便于国家之间、部门之间、人与人之间的信息交流②。计算机网络加上用户是人网结合系统，它不仅具有信息采集、加工、存储、传输、调用、共享、分析、综合等功能，更重要的是还具有产生新信息的功能③。

在知识爆炸时代，建立信息库是创新的基础，因为在科学研究过程中一般的程序是：

问题的提出-调查有关资料-收敛性思维与发散性思维-假设或方案

其中第一步与第二步都涉及与问题有关的大量信息与知识。首先，如何收集与问题有关的信息与知识？这是解决问题的先决条件。因此钱学森建议：必须高度重视信息网络建设的问题。信息网络是信息的生产系统，它新产生的信息再回到系统中，使得这个系统具有信息自增长的特点，这是人机结合精神生产力和人机结合物质生产力所必然带来的。其次，如何充分利用信息网络这个现代化的手段建立起来的信息库，进行集大成的工作，信息与知识的系统化、规范化是必要条件。只有解决了第一步与第二步涉及的上述的两个问题，才能进一步进行收敛性思维与发散性思维，以求得问题的解决。

（4）人机结合是创新的手段

知识经济是以信息与知识的生产、交换、传递与使用为中心，采用电子计算机

---

① 赵光武．思维科学研究．北京：中国人民大学出版社，1999：91.

② 钱学森．创建系统学．上海：上海交通大学出版社，2007：427.

③ 钱学森．创建系统学．上海：上海交通大学出版社，2007：430.

为劳动工具的经济。知识在不断地通过计算机和通信网络被编码化和传播。在知识经济中知识包括两大部分:编码化知识(codified knowledge)与隐含经验类知识(tacit knowledge)。前者是理论的知识,通过形式化,用数理逻辑的语言表达,运用二进制把它编码,输入计算机;后者是经验的知识,它们大多是只可意会,不可言传,需要由人来处理。特别是在面对开放的复杂巨系统时,大成智慧学提出人机结合、以人为主,把人的"心智"("性智"与"量智")与计算机的高性能信息处理的能力结合起来,达到定性的(不精确的)与定量的(精确的)处理互相补充,从而大大提高人的思维能力。

钱学森在现代科学技术体系结构的基础上提出的"集大成,得智慧"的方法论,给研究我们时代创造学方法论提供宝贵的启示。钱学森创建的现代科学技术体系几乎概括了现代人类认识世界、改造世界的全部知识,"钱学森创建的现代科学技术体系",其观点、理论与方法,具有前瞻性、独创性、战略性与可操作性,它对现代科学技术的发展、对我国社会主义现代化建设,有着极为深远的意义,必将对我国的改革与发展产生巨大的推动作用。

6.3.4 钱学森"大成智慧工程与大成智慧学"的基本思想

从20世纪80年代起,钱学森对系统科学进行了不懈的研究,坚持与发展了马克思主义哲学,对系统思想、系统方法与系统科学提出了十分重要的论述:

① 古代朴素的辩证法就已经有系统思想的萌芽。马克思主义哲学认为:"辩证法是关于普遍联系的科学。"①相互作用是我们从现代自然科学的观点考察整个运动着的物质时首先遇到的东西,"相互作用是事物的真正的终极原因。"②系统工程与系统科学用现代科学技术的新成果深化与发展了系统思想,主要表现在:一是将系统方法定量化;二是提供了强有力的计算工具——电子计算机。把系统工程发展为大成智慧工程,再上升为大成智慧学,这是创新思维研究的突破性的发展。

② "系统工程-大成智慧工程-大成智慧学"是科学整体化发展的认识论与方法论,它克服了近代自然科学发展几百年来的机械论观点、还原论方法的局限性,把整体论观点与有机论方法放在首要地位。"系统工程-大成智慧工程-大成智慧学"方法可以解决的问题涉及改造自然,改造社会,提高社会生产力的各个方面。当前,由于这一方法而引起的变革,绝不亚于大约120多年前的工业革命。工业革命在自然科学发展的基础上创立了工程技术,对改造自然,改造社会,提高社会生产力的作用,是以往一切时代不能比拟的;"系统工程-大成智慧工程-大成智慧学"方法是在新的科学技术发展,特别是在系统科学技术发展的基础上创建起来的,它

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1971:357.

② 马克思恩格斯全集(20卷). 北京:人民出版社,1971:574.

“是一项伟大的创新，整个社会面貌将会有一个大改变。所以系统工程的发展是又一项新的技术革命。”①

③ 以马克思主义实践论为指导，按照现代科学技术体系结构的框架，总结近几十年系统科学的最新发展，把“系统工程-大成智慧工程-大成智慧学”的科学技术基础——系统工程与系统科学，从认识发展的过程，总结它的体系结构如表 6-1 所示。

表 6-1

	系统观	系统学	运筹学	各门系统工程
马克思主义哲学		耗散结构论	控制论	自动化技术
		协同学	信息论	通信技术
		超循环论		

参考文献

马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971.
马克思恩格斯选集(2 卷). 北京：人民出版社，1977.
马克思恩格斯选集(4 卷). 北京：人民出版社，1977.
钱学森，等. 论系统工程(新世纪版). 上海：上海交通大学出版社，2007.
钱学森，等. 论系统工程(增订本). 长沙：湖南科学技术出版社，1988.
钱学森，等. 论系统工程. 长沙：湖南科学技术出版社，1982.
钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007.
钱学森. 工程控制论. 北京：科学出版社，1958.
钱学森. 论人体科学与现代科技. 上海：上海交通大学出版社，1998.
钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987.
许国志. 系统科学. 上海：上海科技教育出版社，2000.
赵光武. 思维科学研究. 北京：中国人民大学出版社，1999.

① 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987：217，218.

第七章　开放的复杂巨系统方法的重大应用

7.1　开放的复杂巨系统方法是科学整体化发展的方法论

20 世纪科学技术发展出现了新的形势，主要是：世纪之初萨顿、约翰森、摩尔根对遗传学的微观研究促进了分子生物学的发展；20 年代中期麦肯齐首次把生态学运用到对人类群落和社会的研究，推动了"从自然科学奔向社会科学的强大潮流"（列宁语）；社会科学领域出现许多新的学科。这一形势的发展，正如马克思所预言的，科学将发展成为一门整体的科学——关于人的科学，它将包括自然科学，自然科学也将包括关于人的科学①。

正是在科学技术从物质科学向生命科学、社会科学、关于人的科学发展的新形势下，科学发生从分化转向综合化、整体化的趋势，于是系统的观点与方法破茧而出，并发展成为科学研究的重要方法。最初是在 20 世纪 20 年代，贝特朗菲从理论生物学家的角度向近代自然科学提出了挑战，他认为在生物学研究中只有坚持有机论，才能克服机械论，并明确指出：系统问题的提出，是针对科学中机械论与还原论的分析方法的局限性问题的。机械论与还原论的观点认为：把研究的整体分解为部分，也就能由这些部分来了解整体②。"系统"作为新的科学研究范式的提出，破除了机械论与还原论的观点，吹响了转向时期科学革命的号角。50～80 年代系统科学的大发展，更充分暴露了长期以来在近代自然科学研究中占统治地位的机械论与还原论观点的局限性，在系统科学发展的基础上建立的开放的复杂巨系统方法，成为现代科学整体化时期的方法。

在两种科学观（机械观与系统观）、两种方法论（还原论的分析方法与有机论的综合方法）的激烈冲撞下，不少著名科学家产生了对中国古代哲学浓厚的兴趣。其中最著名、最有影响的是李约瑟，他通过几十年中国科技史的研究，以大量确凿史料，展示了中国古代科学技术的繁荣，证明中国是科学技术创造与发明的发祥地。与此同时，一大批西方科学家对中国古代哲学深感兴趣，自觉地接受中国文化的启迪。有些是受了李约瑟的影响，如普利高津，他赞同李约瑟关于中、西方两种不同的自然观与方法论的观点，认为："正如李约瑟在他的论述中国科学和文明的基本

---

① 马克思. 1844 年经济学-哲学手稿. 北京：人民出版社，1979：82.

② 贝特朗菲. 一般系统论：基础，发展和应用. 林康义，魏宏森等译. 北京：清华大学出版社，1987：16.

著作中经常强调的，近代的西方科学和中国自然观长期以来是格格不入的。"[①]普利高津断言，以往的科学是简单性科学，现在正处于科学发展的历史转折点上，复杂性科学正在产生之中。有些则是独立的发现，如哈肯说："协同学含有中国基本思维的一些特点。事实上，对自然的整体理解是中国哲学的一个核心部分。"[②]他指出，现代科学在研究生命科学、社会科学等不断变得更为复杂的过程和系统时，才认识到还原论分析方法的局限性，他创建的协同学就是"试图在纯粹分析思维与整体思维，换言之，在微观世界与宏观世界的过程之间架起一座梁：协同学阐明部分与整体之间的关系。"[②]

钱学森正是在科学转向时期，适应科学技术综合化、整体化的需要，在系统工程中、在工程技术层次上，对现代科学技术进行综合集成。以工程技术实践为基础，他从 20 世纪 80 年代起深入到基础科学层次，对一个新的研究领域——开放的复杂巨系统的理论与方法——进行探索。开放的复杂巨系统作为一个系统，同样存在于自然界、人自身以及人类社会，从现代科学技术的综合集成的角度，揭示它的认识论与方法论无疑是现代科学技术的重大突破，这必将对现代科学技术的发展、对社会主义现代化建设，有着极为重要的意义。钱学森胸怀祖国，放眼世界，他将开放的复杂巨系统理论与方法同中国发展面临的重大问题联系起来，提出了十分有价值的创见，这里重点就两个问题论述钱学森的贡献。

7.2 用开放的复杂巨系统方法解决第五次产业革命的问题

马克思主义认为，产业革命必将对社会形态的变革带来深刻的影响，因而第五次产业革命浪潮波及我国，立即引起钱学森的高度关注，他亲自组织和领导的、由王寿云同志负责的、有于景元、戴汝为、汪成为、钱学敏、涂元季同志参加的小组，专门就"第五次产业革命对中国发展的影响"进行研究，提出了极为有价值的建议。

7.2.1 钱学森论第五次产业革命与社会形态的变革

1. 劳动资料的变革

马克思研究资本主义社会经济形态，认为它和以往社会经济形态的区别在于生产过程中使用的劳动工具。钱学森从产业革命的角度进一步概括为：第三次产业革命使用的是机械性的劳动工具（可控制的机械加工机），它形成了生产的肌肉

① 普利高津. 从存在导演化. 上海：上海科学技术出版社，1986：3.

② 哈肯. 协同学——自然成功的奥秘. 上海：上海科学普及出版社. 1988：序.

系统;第四次产业革命使用的是物理性、化学性的劳动工具(可控制的电力系统及各种机械工作),它形成了生产的脉管系统;第五次产业革命使用的是电子计算机,它能传输、加工有关生产过程的大量信息,它形成了生产的神经系统。

2. 劳动生产率的提高

第五次产业革命是以现代科学技术特别是电子信息技术为先导的新的产业革命,它的生产方式的特点是:把物质生产和知识生产结合起来,充分利用知识和信息资源,从而极大地降低了生产过程中的物耗与能耗,提高了经济集约化程度,提高了产品的知识含量,提高了产品的附加值,因而劳动生产率大大提高。

3. 产业结构的升级换代

产业革命导致经济的社会形态的飞跃,其主要标志是产业结构的升级换代。在第三、第四次产业革命中,劳动资料的技术革命,是以机械性、物理性与化学性的劳动工具代替手工工具,其产业结构是:

农业-工业-服务业

分别称为第一、第二与第三产业。钱学森从现代科学技术体系出发,认为第五次产业革命以电子计算机为劳动工具,它的产品是信息与知识,其产业结构是:

农业-工业-服务业-科学技术业-文化业

在国民经济的产业结构中,不仅产业的种类增加了,更重要的是产业的知识含量增加了,引起了产业的升级换代。不仅科学技术业,尤其是文化业,是国家发展中的核心问题。

4. 生产方式和工作方式的变革

以电子计算机为劳动工具的第五次产业革命,正在改变企业、公司的生产方式和工作方式。在以机器为劳动工具的第三次、第四次产业革命中,企业和公司围绕物流与资金流来组织生产;而在第五次产业革命中则是以信息流(反映人、财、物、市场、科技等的信息)作为组织生产的决策依据的。

在开发新产品方面,在前两次产业革命中是按照下列方式进行的:

研究-开发-设计-制造

在第五次产业革命中,由于企业与公司全面地掌握了与"需求-生产-供应"有关的信息,就可以采用"柔性生产方式",可以把生产过程的下列环节:

市场调查、商品型号、开发、设计、生产、销售

在同时间内进行。这就大大缩短了开发周期,降低了成本,提高了效益,快速适应了市场的需求。

5. 思维方式与研究方式的变革

随着信息革命的深入发展，人类必将面临“信息爆炸”的困境，必须在思维方式上有一个飞跃，正是出于这个考虑，钱学森在20世纪80年代初提出了建立思维科学的主张。他认为，开展思维科学研究是信息时代的要求，思维科学就是从信息加工的角度研究思维的，而电子计算机与人脑都是处理信息非常有效的工具，不同的是：在处理逻辑思维方面，电子计算机准确得多，快得多，远非人脑所能及；但人脑除了能进行逻辑思维外，还能进行形象思维与创造性思维。关于形象思维，这是计算机要成为智能机的一个重要的前提，目前人工智能研究的模式识别就和形象思维有非常密切的关系，因而钱学森把形象思维研究，视为人工智能、智能机的核心问题，从而是思维科学研究的突破口。关于创造性思维，它是逻辑思维与形象思维的结合，难以用计算机模拟。用哲学家熊十力的话来说，计算机处理的属于逻辑思维，是量智；人脑处理的属于形象思维与创造性思维，是性智。因此，钱学森认为，在研究与处理开放的复杂巨系统时，必须采取人机结合，以人为主的思维方式和研究方式，把人脑的优势和计算机的优势都能充分发挥出来，优势互补，相辅相成。

7.2.2 钱学森论第五次产业革命与中国的发展

产业革命是全社会整个物质资料生产体系的变革，按照历史唯物主义原理，它必然引起社会形态的变化。因此钱学森十分关心产业革命与中国的发展，特别是第五次产业革命对中国社会主义现代化建设带来的影响。

钱学森从“技术革命→产业革命→社会形态飞跃”的观点出发，分析了第五次产业革命与社会发展之间的关系，主要是①：

第五次产业革命的特征，是以现代科学技术特别是电子信息技术为先导的一场新的产业革命。它以1946年第一台电子计算机的发明为标志，开始了以计算机工业为龙头，以信息产业为核心，包括新材料、新能源、生物、海洋、空间等产业在内的产业革命。从第一次产业革命到第四次产业革命，劳动工具的属性是机械的、物理的、化学的；而第五次产业革命以电子计算机为劳动工具，它不仅具有前几次产业革命的劳动工具的属性，而且还具有信息的属性。马克思指出：“各种经济时代的区别，不在于生产什么，而在于怎样生产，用什么劳动资料生产。劳动资料不仅是人类劳动力发展的测量器，而且是劳动借以进行的社会关系的指示器。”②计算机、网络和通信的结合，改变了生产方式、工作方式、生活方式和学习方式，在人类社会出现了信息网络化时代，把发达的市场经济发展为世界市场经济，加速了经济

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：166，410.

② 马克思恩格斯全集(23卷). 北京：人民出版社，1979：204.

全球化的进程，世界上哪一个国家都不能闭关自守。

钱学森认为，科学技术是第一生产力，其集中的表现就是第五次产业革命所爆发出来的生产力。他回顾新中国成立以来生产力发展的历史，指出它的发展与世界发展的差距：新中国在1953年"第一个五年计划"开始工业化，比第三次产业革命落后了约两百年；1978年党的十一届三中全会后，出现了以大规模生产为特征的企业集团，比第四次产业革命落后了约一百年；1995年党的十四届五中全会提出加快国民经济信息化进程，落后了约五十年[①]。1987年党的十三大报告就已经在"关于经济发展战略"部分中指出，"我国的经济建设，肩负着既要推进传统产业革命，又要迎头赶上世界新技术革命的双重任务。"[②]

面对这样严峻的形势，钱学森提出：我们搞社会主义现代化建设，要赶上这个历史进程，有没有这个志气和胆量？钱学森根据他三十多年从事国防尖端科学技术、在理论与实践中取得的举世公认的成就，明确回答："我想应该有。我们应该在这一次——第五次产业革命中迎头赶上去。"[②]钱学森不仅回答了问题，而且提出了迎头赶上的方法，这就是社会系统工程的方法。

7.2.3　钱学森论第五次产业革命与信息网络建设

1. *第五次产业革命带来了网络时代*

网络就是电脑组成的网，通过网络可以联结分散于各处的信息系统，使所有资源（包括人、计算机和信息）能够为需要它的人所共享，克服地理位置的局限而协同工作。互联网的出现，使人类的时空概念发生了根本的变化。

1993年9月，美国政府宣布实施一项新的高科技计划——国家信息基础设施(national information infrastructure，NII)，旨在以因特网为雏形，兴建信息时代的高速公路——信息高速公路(information highway)，使所有的美国人方便地共享海量的信息资源。信息高速公路实质上是高速信息电子网络，它是一个能给用户随时提供大量信息，由通信网络、计算机、数据库以及日用电子产品组成的完备网络体系。同年我国提出了以国民经济信息化为目标的"三金"工程计划，1995年又进一步提出"中国国家信息化基础结构"(CNII)建设计划的设想，其内容主要包括：信息基础设施、信息产业、信息技术、信息人才队伍，以及相应的软环境（标准、政策和法规等）。我国的CNII不同于美国的NII的地方在于：它从我国国情出发；它不仅重视通信网络建设，而且特别强调信息资源的开发与利用；它突出"化"，表明这是一个全面的、系统的发展过程。

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：166.

② 中国共产党第十三次全国代表大会文件汇编. 北京：人民出版社，1987：14.

信息基础结构是现代最先进最强大的社会生产力，它不仅可以最有效地实现对传统产业的改造和更新，而且可以大大地提高社会劳动生产效率、管理效率、工作能力、学习能力和创新能力。信息化是更好、更快地实现社会主义现代化建设的强有力的手段，是增强我国综合国力、赢得竞争优势的关键因素。

2. 信息网络化是国际竞争的新领域

钱学森回顾人类历史，认为国际上国与国之间的矛盾最终往往是通过战争的手段来解决，但是在第五次产业革命推动的经济全球化、文化多样化的新形势下，国与国之间的斗争方式，“主要变为市场经济战，这是当今的‘世界大战’。”①在这种情况下，20 世纪 90 年代信息网络化的迅速发展，提出了信息网络建设的新问题。信息网络使各国经济与国际经济的联系更为便捷，相互影响也更直接，诸如网上媒体、网上银行、网上交易、网上营销等，成为提高市场竞争力的重要手段。在经济全球化、文化多样化的新形势下，大力推进信息网络化，是社会主义现代化建设的战略决策，是建立社会主义市场经济体制这一系统工程的基础设施。

由于信息产业已经成为市场经济战中竞争最激烈的领域，信息网络化实际上是在国家范围内铺设“信息高速公路”，对外与互联网连接，对内连接各地区、各部门。它对经济社会的影响无疑是极为深刻的，其主要表现是：在国外，它将使我们能够更多、更快、更直接地利用外国先进的技术和资金，学习先进的管理经验，全方位、宽领域地开拓国际市场。在国内，它将对调整产业结构、增强知识创新能力、改善人民生活质量、提高国民综合素质，以及提升国际竞争力，起到巨大的推动作用。

3. 信息网络建设的方法论

钱学森站在战略科学家的高度，十分关注信息网络建设提出的问题，他亲自组织了在他领导下的六人小组，应用开放的复杂巨系统的理论与方法，对“信息网络建设和第五次产业革命”②提出了十分重要、极有参考价值的意见：

(1) 关于信息网络的理论观点

① 第五次产业革命是信息革命，它是“以微电子、信息技术为基础，计算机、网络和通信等为核心的技术革命，以及由此引起的经济和社会发展。”③

② 第五次产业革命不同于以往的产业革命的特点在于：第五次产业革命利用劳动工具的信息属性。从而在经济活动过程中，发生了从“以体力劳动为主”向“以

① 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：185.
② 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：426.
③ 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：426～441.

脑力劳动为主”、从“以物质与能量为中心”向“以信息为中心”的转变。信息网络的建设,“改变了人们的工作方式、研究方式、学习方式、教育方式、消费方式和娱乐方式,开创了人机结合的精神生产力,计算机软件也将成为人类文化的组成部分之一。”

③ 信息网络“是社会系统中信息资源和信息流动方式上的高度组织化、社会化、集成化和规范化。”信息网络使得信息资源能够得到充分开发利用和共享,这将极大地方便于国家之间、部门之间、人与人之间的信息交流。

④ 信息网络加上用户是人网结合系统,这是开放的复杂巨系统,它通过用户把信息网络和社会系统耦合起来,使信息网络成为社会系统中信息流的载体,犹如社会的神经系统,它将大大加速信息流通,推动社会发展。人网结合的系统包括三大部分:

信息资源,它来自社会系统以及社会系统的环境-地理系统,这两个系统都是有层次结构的复杂巨系统,它们具有大量的、不同类型的信息;

信息网络,它把信息供给和信息需求在技术上连接起来的信息通道;

信息用户,它包括政府机关、企业、学校、家庭和个人。

人网结合的系统不仅具有信息采集、加工、存储、调用、共享、分析、综合等功能更重要的是还具有产生新信息的功能,是信息的生产系统。

(2) 关于信息网络的建设

人网结合的系统是一个开放的复杂巨系统,它的研究、设计和建设,必然会提出一系列新的问题:

① 从横向上看,一方面,其空间分布范围之广,规模之大,结构之复杂,都是空前的;另一方面,它的建设涉及技术方面(电子信息技术、网络技术和通信技术的综合集成)和社会方面(社会形态的物质、精神、政治与地理四大领域的建设)。如何把人网结合的系统和社会系统、地理系统紧密地耦合起来,充分发挥它的作用,推动社会主义现代化建设的进程,这是一个复杂性问题。

② 从纵向上看,仅是在经济的社会形态方面,当前迫切需要解决的就有下列问题:

信息资源的开发、合理配置和有效利用,如何与建设社会主义市场经济体制这项系统工程相配套?

随着信息资源开发和供给的社会化、专业化,信息供给和信息需求将分离,形成了以信息服务业为中心的、庞大的信息市场,如何加强国家对信息市场的宏观调控?

信息网络要正常安全运行,如何设置技术的、法律法规的安全保护管理制度?

信息网络的应用普及需要大批人才,特别是既懂技术又懂管理的复合型人才,如何有组织地进行培养?

为了信息资源共享，如何建立统一的国家网络标准，以便国内的联通和国际接轨？

从开放的复杂巨系统的理论与方法看，上述问题绝不是用近代科学的方法所能处理和解决的，首先必须把人网结合的系统的三个组成部分作为一个整体，从综合性、系统性和动态性来考虑；然后用从定性到定量的综合集成法，系统工程的方法，形成思想、设想、战略、规划、计划、方案、可行性等，进行科学论证，付诸实施，通过反复试验，不断总结，才能解决问题。

7.3 用开放的复杂巨系统方法解决创建“创新型国家”的问题

7.3.1 创新型国家与知识创新工程

1. 建设创新型国家是知识经济时代的战略任务

在第五次产业革命的引领和推动下，人类正经历着从工业社会向知识社会演进的重要历史时期，社会的经济形态发生了急剧的、深刻的变革，主要是：生产方式从“以物质为基础的”工业经济向“以知识为基础的”知识经济转变。知识经济的兴起是划时代的变革，它将对投资模式、产业结构、发展方式和教育思想与教育方法产生极为深刻的影响；特别是在经济发展方式方面，知识可以低成本地不断复制并实现报酬递增，使经济发展对物质资源的依赖大大减轻。在知识经济形态中：知识创新是发展的动力；教育、文化和R&D（研究与发展）是先导产业，是国家最主要的部门；知识和高素质的人力资源是最重要的资源。

由于信息革命——数字化、网络化、信息化——为人类信息共享，高效率地进行知识创新，提高知识生产率，提供了坚实的技术条件，因而信息革命的发源地美国，把科技创新作为发展战略，大幅度地提高科技创新能力，在当代激烈的国际竞争中形成了强大的优势，率先进入了创新型国家的行列，成为创新型国家的范例。创新型国家的特点突出地表现在如下方面：整个社会对知识创新活动的投入高，知识密集型产业的竞争力强，投入产出的绩效高，科技进步在国家的发展中是重要的推动力量。

知识经济的来临给中国发展注入更大的活力和带来新的机遇。大力发展知识经济无疑将有利于解决我国面临的发展的困境，对优化经济结构、合理利用资源、保护生态环境、促进协调发展、提高人口素质、彻底消除贫困、缩小贫富差距，是一条新的发展道路。为此，必须营造良好的社会环境，推进知识创新、技术创新和体制创新，以提高全社会创新意识和国家创新能力，从而实现中国跨越式发展的目标。正是在时代的要求下，党中央、国务院把建设创新型国家作为事关社会主义现代化建设全局的战略决策：把知识创新作为目标，把增强自主创新能力作为发展科

学技术的关键,以推动科学技术的跨越式发展。建设创新型国家的内涵主要是:把增强自主创新能力作为调整产业结构、转变增长方式的中心环节,又快又好地建设资源节约型、环境友好型社会,推动国民经济持续稳定发展;把增强自主创新能力贯穿到现代化建设各个方面,激发全民族创新精神,培养高水平创新人才,形成有利于自主创新的体制机制,大力推进知识创新。

早在2002年党的十六大报告提出了新型工业化道路,这就是:坚持以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,使我国的发展走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥发展道路。新型工业化道路实际上就是从工业经济向知识经济演进的道路,其目的之一是通过信息化缓解我国工业化进程中资源利用粗放,生态环境恶化的矛盾。

仅隔四年,2006年国家主席胡锦涛在全国科技大会上,就明确提出了创建创新型国家的战略目标。他指出:创新型国家首先必须具备自主创新能力,它是国家竞争力的核心。在科技进步突飞猛进的今天,我们要在日趋激烈的国际竞争中赢得主动,就必须大力增强自主创新能力。因此,他宣布中国未来15年科技发展的目标是:2020年建成创新型国家,使科技发展成为经济社会发展的有力支撑。这是我们党综合分析世界发展的趋势,根据我国所处的历史阶段,提出来的面向知识社会发展要求的重大战略任务。从现代科学技术发展整体化方向看来,提高知识创新能力主要是:提高原始创新能力,集成创新能力和引进消化吸收再创新能力;并把这种能力应用于转变经济增长方式,提升生产力水平,提高利用科技手段解决当前和未来我国经济社会发展的重大问题上。

2. 知识创新工程是建设创新型国家的支柱工程

在知识经济时代,知识创新工程是创新型国家的支柱工程,是在知识的生产过程中以创新为目标的工程。知识的生产过程与物质的生产过程既有区别又有联系。

关于物质的生产过程,马克思指出,在任何社会中它都必须经过下列四个环节,即:

生产-交换与流通-分配-消费

这四个环节构成一个有机整体,它们之间存在着相互联系、相互作用①。

知识的生产过程与物质的生产过程同样要经过这四个环节。区别在于:这两种生产过程的产品不同、劳动材料不同、生产工具不同、生产方法不同。最基本的区别是:前者生产的是信息与知识;后者生产的是物品。因而知识生产过程的组织管理不同于物质生产过程的组织管理。

---

① 马克思恩格斯选集(2卷). 北京:人民出版社,1977:86~102.

知识创新工程是在知识生产过程中以追求知识创新为目标的工程。这是一个特殊的开放复杂巨系统，其中包括各种子系统，每一种子系统有不同的层次[①]，知识创新工程包括的子系统如下：

① 知识的生产系统。它的功能主要是生产新的知识，如新观点、新原理、新理论、新方法、新发现。执行的机构主要是国立科研机构（国家科研机构和部门科研机构）、教学科研型大学，以及其他高等教育机构、企业科研机构、政府部门的研究机构。

② 知识的交换与流通系统。它的功能主要是知识的交流与传播。交流功能主要通过报刊、杂志、书籍、学术讨论会，交流研究成果与研究心得，促进知识增长；流通功能除了通过报刊、杂志、书籍、学术讨论会外，还通过学术报告会、经验交流会、科技展览馆等，将知识向社会传播。

③ 知识的分配系统。它的功能是将知识分配给人民大众，使人民大众从获得知识中受益，既有益于个人的生存和发展，也有益于社会的发展，执行机构主要是各级教育系统、职业教育系统、职业培训系统，以及政府部门、其他教育机构、科研机构、企业等的培训班，它们根据不同的要求，传授知识，培养人才。

④ 知识的消费系统。它的功能是知识的应用。执行机构主要是科研机构、政府部门、学校、企业、医院、机关等。通过知识的应用，促进知识创新。

⑤ 知识生产过程中的人事系统。参加知识生产过程四个环节的人员，包括企业家、科学家、工程师、技术工人、一般工人这几个不同的层次：一方面他们的文化背景、家庭出身、社会经历千差万别；另一方面现代科学技术知识的每一门类都包括大量不同的技术与不同的工程，因而人员的种类是十分繁杂的。人事系统的任务就是识人、用人，把参加人员科学地组织起来，按照知识创新的目标进行管理。

由于上述各个系统之间是紧密地相互联系的，而且它们与社会经济文化环节之间有着千丝万缕的联系；再由于知识创新工程是处在不断运动与变化之中，因而，知识创新工程的组织管理必须应用系统工程方法。

7.3.2　知识系统工程[②]是组织管理知识创新工程的方法

1. 知识创新工程的组织管理

知识创新工程是知识经济时代特有的工程，需要新的组织管理方法，这就是知识系统工程方法。知识系统工程是对知识生产过程中的“生产-交换与流通-分配-消费”，也就是对知识的获取、传输、加工与利用，从整体的观点出发，利用网络技术

---

① 路甬祥. 创新与未来. 北京：科学出版社，1998.

② 王众托. 创建知识系统工程学科. 见：钱学森系统科学思想研究. 上海：上海交通大学出版社，2007.

(通信网、电视网与数据网三网合一),对它的各个环节进行全面的统筹规划、运行和管理。因而,知识系统工程方法就是对知识创新工程进行组织管理的方法。为此,首先必须对知识创新工程进行系统分析:

(1) 知识创新工程的两个基本观点

马克思关于物质生产过程的两个基本观点对知识创新工程同样是适用的。第一个观点是,在"生产-交换与流通-分配-消费"中,"生产表现为起点,消费表现为终点,分配和交换表现为中间环节。"[①]第二个观点是,物质生产过程必须周而复始地经过"生产-交换与流通-分配-消费"等环节,这就是说,物质生产过程同时也就是再生产过程。物质再生产过程分为简单再生产和扩大再生产[②]。

从人类文明发展史来看,知识生产过程同物质生产过程同样有两个基本观点:第一个观点是,知识生产表现为起点,知识的消费表现为终点,知识的分配、流通与交换表现为中间环节。所以,在知识生产阶段上的创新是原始创新。第二个观点是,知识生产过程,必须周而复始地经过知识的"生产-交换和流通-分配-消费"等环节,因此,知识生产过程同时也就是再生产过程。如果没有知识的再生产过程,人类文明就会走向衰亡。知识再生产过程分为简单再生产和扩大再生产,前者是知识的继承,后者是知识的创新。

知识的继承是在原来已知的理论框架下知识的不断积累的过程。

在分门别类的近代科学研究时期,逻辑经验主义者罗素、卡尔纳普、赖欣巴哈等,用数理逻辑方法,总结物理学发展的规律,提出来的科学发展模式,可以认为是知识的简单再生产的方式,即:

经验-假设-证实

但是,知识的再生产如果停留在简单再生产过程,那就是只有继承,而无创新。社会要发展,文明要昌盛,就必须在继承已有的知识遗产的基础上不断进行知识创新。

知识的创新是个人、社会、国家以至整个世界生存与发展的关键。

在分门别类的近代科学研究时期,批判理性主义者波普尔,用数理逻辑方法,总结爱因斯坦相对论对物理学的革命,提出来的科学发展模式,可以认为是知识的扩大再生产的方式,即:

问题-假设-证伪

因为,证实只是知识的积累,没有创新,因为,一个理论无论经过多少次证实,都没有越出原来已知的理论框架;要创新就必须证伪,只要有一个反例证伪,原来已知的理论框架就会被质疑,甚至被推翻,从而要求创立新的理论,回答新的问题

① 马克思恩格斯选集(2卷). 北京:人民出版社,1977:91.

② 马克思恩格斯全集(23卷). 北京:人民出版社,1979:621,622.

（理论与事实的矛盾）。

在综合化、整体化的现代科学时期，知识创新，知识的扩大再生产，具有不同于近代科学时期的特点，可以比较如下：

在分门别类的近代科学时期，研究的对象是简单巨系统，在分析的基础上，得出：

知识继承的方法是：经验-假设-证实；

知识创新的方法是：问题-假设-证伪。

二者的基本方法都是从定性到定量方法，也就是从经验或问题出发，得出经验性假设，然后对假设进行数学计算与逻辑推理，把得出的结论同实验相比较。由此决定假设的证实或证伪。

在综合化、整体化的现代科学研究时期，研究的对象是复杂巨系统，在分析方面，对象的变量不仅非常之多，更重要的是变量的种类繁杂，而且每一种类中还有不同的层次。此外，从分析得到的关于对象的组成部分的认识，并不能得到关于对象的整体的认识，还必须有综合方法。这就需要与研究对象有关的领域的专家，从实践经验出发，从分析得到的局部的、定性的知识出发，应用人机结合、以人为主的方法，充分利用计算机处理信息的能力，发挥人特有的智慧，实现信息与知识的综合集成。这就是从定性到定量综合集成方法。它的知识创新表现为综合集成创新。

（2）知识创新工程的目标在于知识应用

从马克思主义认识论的观点看来，知识创新（认识世界）的目的在于改造世界（知识应用）。

毛泽东一贯重视知识的应用，强调学习理论要“有的放矢”，就是说，要用马克思主义理论之“矢”，射中国革命之“的”。在抗日战争前夕他就指出：“读书是学习，使用也是学习而且是更重要的学习。从战争学习战争——这是我们的主要方法。”[①]他还指出：“情况是在不断地变化，要使自己的思想适应新的情况，就得学习，……要接受新事物，要研究新问题”[②]，但学习的目的全在于应用。

马克思关于物质生产有一个重要的观点，认为：“没有生产，就没有消费，但是，没有消费，也就没有生产，因为如果这样，生产就没有目的。”[③]因而物质的生产与物质的消费是互为条件，互相制约的。生产决定消费，消费决定生产，这个观点同样也适用于知识生产，这可以从两个方面来分析。

从认识论看，知识的生产，科学理论的确立，只是认识过程的第一个飞跃，它解

① 毛泽东选集(1卷).北京：人民出版社，1967：174.

② 毛主席的五篇哲学著作.北京：人民出版社，1970：201，202.

③ 马克思恩格斯选集(2卷). 北京：人民出版社，1977：94.

决的是认识世界的问题。马克思主义者认为,“无产阶级认识世界的目的,只是为了改造世界,此外再无别的目的。”①这就是说,知识的生产,理论的创立,固然是重要的,但是,从马克思主义认识论的观点看来,这只是问题的一半,更重要的是还必须把经过实践得到的理论的认识,再回到实践去,回到改造世界的实践中去,应用理论去解决实际问题。把理论应用于实践,检验理论是否正确,一般地说来,成功了的就是正确的,失败了的就是错误的。人们的认识经过实践的考验,又会产生一个飞跃。“这次飞跃,比起前一次飞跃来,意义更加伟大。”①因为只有把理论应用于实践,才能证明理论的认识究竟是正确的还是错误的,此外再无别的检验真理的办法。

从知识经济看,在知识的“生产-交换和流通-分配-消费”这一完整的过程中,知识的使用就是把知识生产(基础科学研究)的成果,应用于生产过程。在现代“科学-技术-工程”一体化的过程中,基础理论知识的应用是 R&D,是“科学知识生产与科学知识应用的有机结合”,其中的 R 是基础科学研究,简称研究,它研究的对象是自然,目的是追求新发现、探索新规律、创立新学说、创造新方法、生产新知识,以丰富人类知识宝库;D 是应用研究,简称发展,它应用基础科学的研究成果,开发出新技术、新产品,主要是经过下列环节:

基础科学-技术科学-新技术(新工艺、新产品、新材料等)

从钱学森创建的现代科学技术体系结构看来,这实际上就是:

基础科学-技术科学-工程技术

纵观美国经济的发展,就是从注重应用研究(科学知识的应用)起步,逐步形成并掌握了 R&D 这个方法,它成为美国经济腾飞的强大动力,在短短的几十年内一跃成为世界超级大国。从 R&D 的过程来看,美国大致经历了如下的阶段②:

① 第一阶段是经验知识的工业应用(1876～1900 年)。在这个阶段上,科学知识还不足以成为工业应用的依据,因而必须进行反复的试验,以经验为基础进行探索。这个阶段的特点是用反复试验的方法,摸索技术发明、技术创新的经验,直到得出成品或模型作为成果为目的。1876 年爱迪生创办的门罗公园实验室,即所谓的“发明工厂”是这一阶段的代表。缺乏科学理论指导的试验过程,虽然是复杂的和艰苦的,但却是有成效的,爱迪生主要是采用试验摸索方法,一生共获得了 1093 项专利。

② 第二阶段是科学知识的工业应用(1900～1925 年)。这一阶段的特点是,把工业应用建立在科学知识的基础上,为了实现工业应用从经验知识向科学知识的转变,美国通过派留学生到欧洲学习和聘请欧洲的科学家到公司任职,在学习与

---

① 毛主席的五篇哲学著作.北京:人民出版社,1970:227.

② 闫康年.通向新经济之路——工业实验室是怎样托起美国经济的.北京:东方出版社,2000.

借鉴欧洲先进的科学技术的过程中，将学到的科学知识应用于技术创新，经过消化、吸收，形成自主创新的技术和产品。这一转变的标志，是1900年美国通用电气公司成立了以科学知识为基础、进行技术创新的研究实验室。它采用了大学研究所的建制，运用工业大生产的管理方法，以从大学中聘请的科学家和工程师为主体，运用科学原理与科学方法，进行工业应用研究。其成效十分显著，拥有大量的电器照明技术创新成果，取得了丰厚的经济收入；公司在电力照明、材料和发电设备上明显优于同行的其他公司。

③ 第三阶段是科学研究与工业应用相结合(1925～1953年)。这一阶段的特点是，进行基础研究生产新的科学知识，并将它转化为工业应用，也就是从科学研究成果(潜在的生产力)转化为工业的新工艺和新产品(现实生产力)。这一转变的结果，使得公司的研发部，根据产品的发展方向，建立基础科学研究的专业队伍，产生科学知识上的重要突破，然后再由技术研究部门进行技术创新和产品创新。这也就是基础研究中的定向研究。

其中最有代表性的，是1925年1月1日由AT&T与Western Electric公司的工程研究开发部合并组成的贝尔实验室，由3600人组成，是世界上规模最大的工业研究实验室，在全球享有极高声誉的研究开发机构。贝尔实验室对通信技术的研究成果为美国电报电话公司所采用，在世界上占据重要地位。贝尔实验室的工作可以大致分为三类：基础研究、系统工程和应用开发。基础研究主要从事电信技术的基础理论研究，包括数学、物理学、材料科学、行为科学和计算机编程理论。系统工程主要研究构成电信网络的高度复杂系统。开发部门是贝尔实验室最大的部门，负责设计构成贝尔系统电信网络的设备和软件。自1925年以来，贝尔实验室共获得两万五千多项专利，现在，平均每个工作日获得多于三项专利。贝尔实验室的使命是为客户创造、生产和提供富有创新性的技术。

④ 第四阶段是科学知识“生产-交换和流通-分配-消费”过程形成一个有机整体，知识应用的复杂性空前地增加。

从20世纪50年代开始，经济全球化与科学技术革命两股浪潮，汹涌澎湃地冲击着整个世界，大科学、大技术、大经济时代的来临，科学知识的“生产-交换和流通-分配-消费”过程的组织管理，更加复杂，尤其是R&D的组织管理，进入了市场竞争与国家管理这两个因素，其复杂程度更是难以想象。

2. 培养创新型人才是实现知识创新工程的关键

创建创新型国家，实现知识创新工程，培养创新型人才是关键。在科学技术发展从分析转向整体化的时代，研究的对象大都是开放的复杂巨系统，必须在教育思想、教育内容、教育方法上有所突破。创建创新型国家的战略任务，知识经济时代知识创新的要求，是钱学森时刻关注的重大问题。为此，他在创建现代科学技术结

构、创建开放的复杂巨系统理论与方法的基础上，提出大成智慧的教育理念、大成智慧学的教育内容和大成智慧工程的教育方法。本书第十五章将论述钱学森关于这方面的思想与方案。

参考文献

贝特朗菲. 一般系统论：基础，发展和应用. 林康义，魏宏森等译. 北京：清华大学出版社，1987.
哈肯. 协同学——自然成功的奥秘. 上海：上海科学普及出版社，1988.
路甬祥. 创新与未来. 北京：科学出版社，1998.
马克思. 1844年经济学-哲学手稿. 北京：人民出版社，1979.
马克思恩格斯全集(23卷). 北京：人民出版社，1979.
马克思恩格斯选集(2卷). 北京：人民出版社，1977.
毛泽东选集(1卷). 北京：人民出版社，1967.
毛主席的五篇哲学著作. 北京：人民出版社，1970.
普利高津. 从存在导演化. 上海：上海科学技术出版社，1986.
钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007.
王众托. 创建知识系统工程学科. 见：钱学森系统科学思想研究. 上海：上海交通大学出版社，2007.
闫康年. 通向新经济之路——工业实验室是怎样托起美国经济的. 北京：东方出版社，2000.
中国共产党第十三次全国代表大会文件汇编. 北京：人民出版社，1987.

第三篇　钱体系的理论创新与实践创新

第八章　钱体系对现代科学技术认识论与方法论的创新

19世纪中叶诞生与形成的马克思主义哲学，是在总结哲学发展史、总结近代自然科学认识史、在为创建新社会进行艰苦卓绝奋斗的过程中创立起来的。马克思认为："自然科学是一切知识的基础。"[①]在马克思恩格斯所处的时代，自然科学与技术的密切联系是从19世纪60年代麦克斯韦电磁场理论提出后才开始的；此后，1888年赫兹用实验证明电磁波的存在；1896年马可尼利用电磁波发明无线电，于是"科学-技术-工程"一体化的过程从此蓬蓬勃勃地发展起来。因而公认的第一本名实相符的技术哲学，被赋予1877年德国学者卡普（1808～1896年）的《技术哲学原理》一书。至于工程哲学那就更晚得多，迟至20世纪80年代后，在大科学、大技术、大工程迅猛发展的基础上才兴起了一股研究工程哲学的热潮。

目前，国内外已经有许多学者对工程哲学进行了相当深入的研究；国外如米切姆、杜尔宾、文森蒂、布希莱利、考恩[②]等；国内如殷瑞钰、汪应洛、李伯聪、陈凡、王宏波等。但是从系统科学与系统工程的角度，对"科学-技术-工程"一体化过程，结合亲自从事的航天工程实践经验，从认识论与方法论上进行概括与总结，这一重大的、有历史意义的方向的开拓者，应该首推我国思想家、科学家钱学森。他在创建现代科学技术体系的过程中，从纵向上全面地、系统地，对"科学-技术-工程"的认识过程，在马克思主义哲学指导下，进行了深入的论述，把它划分为不同的阶段与不同的层次，并在横向上对现代科学技术综合化与整体化的发展方向描绘出一幅蓝图，把现代科学技术划分为十一个大部门，把艺术与科学的结合视为性智与量智的辩证的结合。

8.1　钱学森对现代科学技术认识过程的分析与概括

8.1.1　现代西方科学哲学对科学认识过程的分析与概括

19世纪末形成与发展起来的现代西方科学哲学，以科学理论为对象，以数理逻辑为工具，进行认识论与方法论的分析，由此产生了最有影响与有价值的两大

---

① 马克思恩格斯全集(47卷). 北京：人民出版社，1979：572.

② 殷瑞钰，汪应洛，李伯聪，等. 工程哲学. 北京：高等教育出版社，2007：35～40.

流派：

（1）逻辑经验主义

近代自然科学发展时期，它的认识方法是：从经验出发，采取归纳、演绎、分析、综合、概括等方法，形成科学理论。19世纪初，孔德抓住科学认识不同于哲学认识的“经验证实”这一要素，建立起实证主义的科学哲学。19世纪末，逻辑实证主义在孔德实证主义的基础上，应用康托的数学革命、弗莱格与罗素的逻辑学革命，特别是普朗克与爱因斯坦的物理学革命的成果，研究科学理论的产生、形成及其结构，提出了以下的哲学观点，即：

① 逻辑主义。科学理论是由一系列真命题组成的，这些真命题是用数理逻辑为工具，组织起来一个逻辑系统，即公理-演绎系统。

② 归纳主义。科学理论来源于经验归纳。

③ 证实原则。命题是否真或是否有意义，以能否被经验证实为标准。

逻辑经验主义按照上述基本观点研究科学理论的形成与发展过程，得出如下的科学理论发展模式：

经验-假设-证实

（2）批判理性主义

现代自然科学发展初期，由于爱因斯坦与普朗克的物理学革命，它的认识方法与近代自然科学时期不同，不是直接从经验出发，经过归纳、分析、概括，得出科学理论；而是从假设出发，通过逻辑推理和数学演算，解释经验事实并预见新的经验事实。爱因斯坦相对论的发明就是这个方法的典型。批判理性主义的代表人物波普尔正是从爱因斯坦相对论的发明中得到启发，提出了关于科学理论的哲学观点，他认为，科学理论具有如下的基本特征：

① 逻辑主义。与逻辑经验主义相同，批判理性主义也是从集合论、数理逻辑与相对论出发，认为科学理论是以数学与数理逻辑为工具，按照公理-演绎方法建立起来的。

② 演绎主义与证伪原则。从逻辑的观点看，在公理-演绎系统中推演出来的命题，虽然被经验证实，但不能保证理论的真理性。因为，在逻辑推理中，前提真结论必真；而反过来，结论真并不能保证前提必真。这就是说，通过归纳法证实为真的命题只是或然的真，不是必然的真。因此，理论的真实性必须通过经验证伪。

③ 理论只是大胆的猜测。理论只是科学家对自然界的运动规律所作出的猜测，它是暂时的假设，总有一天要被经验证伪。在科学发展史上牛顿力学被高速运动物体的实验事实证伪了，由爱因斯坦相对论代替。但是，爱因斯坦相对论也是一种暂时性的假设，总有一天它也会被新的假设所取代。

批判理性主义按照它的基本观点研究科学理论的形成与发展过程，得出如下的科学理论发展模式：

问题-猜测-证伪

总之,逻辑实证主义与批判理想主义关于科学理论的认识论与方法论的观点是不同的,从表 8-1 可以看出。

表 8-1

	科学理论的来源与形成过程	科学理论的检验
逻辑实证主义	归纳-假设	经验证实
批判理想主义	假设-演绎	经验证伪

但是,从实践论的观点看来,从"实践-认识"循环往复,螺旋形上升的过程看来,逻辑实证主义与批判理想主义的观点是相互补充的,从表 8-2 可以看出。

表 8-2

	实践-认识-再实践-再认识
逻辑实证主义	经验-假设-证实,循环往复,螺旋形上升
批判理想主义	问题-猜测-证伪,循环往复,螺旋形上升

8.1.2 钱学森提出现代科学技术的认识论与方法论

在古代,科学与技术是分别进行的,形成了两种不同的传统——"科学传统"与"技术传统"①。直到 19 世纪后期,麦克斯韦电磁场理论建立,才开始了"科学传统"与"技术传统"的融合,形成了"科学-技术-工程"一体化的进程。20 世纪中叶,影响人类社会的大型工程纷纷出现,"科学-技术-工程"一体化成为现代科学技术发展的基本过程。正是在社会的迫切需求,科学、技术与工程日益融合为一个系统的整体的新形势下,钱学森结合他自己从事航天工程的理论与实践的经验,从实践论的观点出发,总结了"科学-技术-工程"一体化发展过程的新经验、新动向,在创建现代科学技术体系结构的过程中,创造性地提出了现代科学技术认识发展过程的三个层次,这就是:

基础科学-技术科学-工程技术

基础科学以客观世界的运动形式为研究对象,是探索客观世界发展规律的科学。主要包括数学、自然科学、社会科学、思维科学、人体科学、行为科学等。基础科学的研究成果对技术科学和工程技术起指导作用,它具有以下特点:

① 反映客观世界运动发展最本质的规律。它是由概念、定理、定律组成的严密的理论体系,它的抽象性、概括性最强。

② 潜在的生产力。它需通过一系列中间环节,才能转化为现实生产力。

---

① 梅森. 自然科学史. 上海:上海人民出版社,1977:导言.

③ 基础科学研究的特殊性。基础科学研究具有长期性、艰苦性和连续性的特点。它经过实践检验，公开发表，才能成为全人类共同的精神财富。

技术科学是以基础科学的理论为基础，针对工程技术中带普遍性的问题，或出现于几门工程技术专业中共同的问题，从理论与方法上统一加以处理而成的，如电子学、教育学等技术科学[①]。因此在科学技术认识过程中，技术科学是联系基础科学理论与工程技术实践的中间环节，它的建立和它的研究方法是20世纪初德国哥廷根大学的伟大的数学家克莱因开创的。

工程技术是在工程活动与工程建造中所使用的技术，它包括三个相互联系的方面：

① 工程技术的操作。这是参加工程的人员所掌握的技术，是主体技术，如技能、手艺、智能、经验、方法、步骤等。

② 工程技术的装备。这是工程技术的载体，是客体技术，如工具、机器、设备、生产线等物质实体，它们是工程活动得以实现的物质手段。

③ 工程技术的知识。这是科学技术的理论与方法，是现代工程技术不同于以往经验技术的一个重要标志。它以基础科学为理论基础，针对工程技术的要求建立起来的。

在"科学传统"与"技术传统"的融合过程中，在"科学-技术-工程"一体化的发展过程中，先后产生了三门哲学，即：

科学哲学-技术哲学-工程哲学

钱学森的理论创新在于：他从"人类认识世界的目的，只是为了改造世界"的马克思主义观点出发，以工程为中心，从现代科学技术认识过程的方法论上，把"基础科学-技术科学-工程技术"三个层次看成是一个系统的整体；三者是互相区别、互相联系但又是互相促进的。钱学森从对现代科学技术认识的过程进行的分析与概括，不仅大大超出了西方科学哲学的范围，更重要的是它丰富与发展了马克思主义认识论与方法论。这鲜明地体现在现代科学技术体系的纵向划分上，以及对现代科学技术发展与哲学发展的关系、科学技术认识与前科学认识的关系所作出的理论阐述上。

8.1.3　钱学森对现代科学技术认识论与方法论的贡献

1. 它大大超过了现代西方科学哲学

20世纪现代科学技术革命以前的两次科学革命，哥白尼-牛顿科学革命和普朗克-爱因斯坦科学革命，使得人类对自然界的认识取得了辉煌的成就，在这个基

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：114.

础上，19世纪末、20世纪初形成并迅速发展起哲学的一个新的分支——现代西方科学哲学，它专门研究科学的认识论与方法论问题。

现代西方科学哲学是逻辑实证主义开创的，逻辑实证主义者根据现代科学，特别是数学、逻辑学与物理学的新成就，以数理逻辑为工具，研究了现代科学的认识方法和理论结构，得出了十分有价值的成果，成为20世纪哲学研究的一个重要方向与重要流派。但是对于当时已经形成的"科学-技术-工程"一体化，以及由此带来的认识论与方法论的新问题，没有也不可能进入他们的视野。关于"科学-技术-工程"一体化的认识论与方法论，这是一个划时代的课题，只有集科学、技术与工程的知识于一身，具有长期从事尖端科学技术(航天工程)的丰富实践经验，特别是具有哲学头脑的大师钱学森，能够担负此历史重任。他在创建现代科学技术体系的过程中，一方面，以矛盾论的观点为指导，按照研究的着眼点不同，从横向上把现代科学技术分为十一个大部门；另一方面，以实践论的观点为指导，按照从实践到认识的发展过程，从纵向上把现代科学技术的认识过程划分为三个层次。并从总体上提出现代科学技术与哲学的关系，即特殊与一般的关系，认为这个关系要通过"桥梁"(中介，即部门哲学)来实现。

钱学森的现代科学技术体系结构，为马克思主义对现代科学技术的研究，不仅提出了一个理论框架，而且对"科学-技术-工程"一体化的认识论与方法论的研究，提出了观点与方向，提出了方法与道路。至于国外同期产生的科学技术哲学，如邦格的《科学技术哲学》，则是在西方科学哲学的思想传统下形成的，其中虽然有不少值得借鉴的地方，但是在哲学观点上，在系统科学的理论框架上，钱学森对现代科学技术认识过程的分析与概括，则是西方学者无与伦比的。钱学森独树一帜，以实践论的观点为指导，鲜明地体现了中国马克思主义者理论联系实际的特色。

2. 它坚持与发展了马克思主义的认识论、方法论

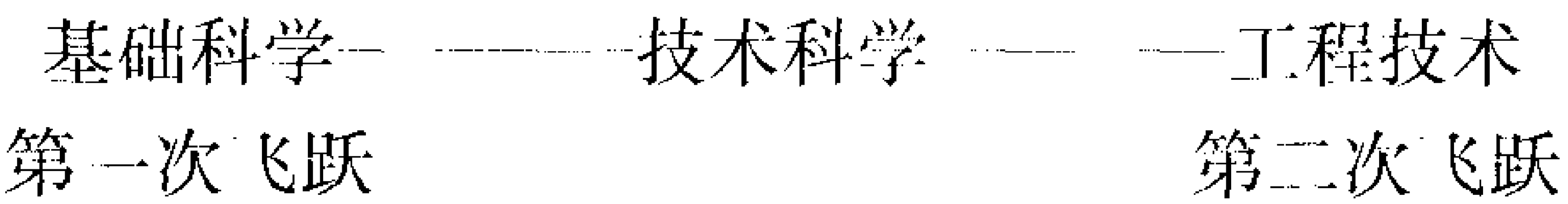
从马克思主义认识论的观点看来，现代西方科学哲学中的科学认识发展模式，只是研究了科学认识过程中的飞跃，即从实践到认识的飞跃：

实验-假设-实验(假设的证实或证伪)

这是科学发展过程的认识论与方法论。

但是现代科学技术革命以来，科学发展出现了新的形势："科学-技术-工程"一体化已经成为科学技术发展的基本过程，主要的表现是：新的科学发现不断出现；新的技术原理层出不穷；一大批大型工程如雨后春笋般涌现。人类在改造自然、改造社会，创造物质文明方面取得了史无前例的成就。在现代科学技术已经成为推动社会发展空前强大的动力的新形势，对现代科学技术发展的基本过程——"科学-技术-工程"一体化——进行系统的哲学的研究、概括与总结，已经成为我们时代的重大课题。钱学森在分析、总结现代科学技术发展的基本情况的基础上，从辩

证唯物主义认识论的立场出发，坚持马克思主义的观点——哲学家们“只是用不同的方式解释世界，而问题在于改变世界”①——提出了一个完整的现代科学技术的发展模式，这就是：



基础科学——技术科学——工程技术

第一次飞跃　　　　第二次飞跃

它把“科学-技术-工程”一体化过程（认识世界与改造世界的过程）的两个飞跃都包括在内，其中基础科学解决认识世界的问题，是第一次飞跃，是现代西方科学哲学研究得比较深入的；工程技术解决改造世界的问题，是第二次飞跃，这是现代西方科学哲学还没有涉及的。进入 20 世纪 80 年代，西方与我国的学者同时起步的工程哲学，认识到研究科学技术认识过程的第二次飞跃的重要性，提出了工程哲学的研究。

从开放的复杂巨系统的概念与方法看来，“科学-技术-工程”一体化是一个完整的认识世界与改造世界的过程，科学、技术与工程这三个环节彼此的任务是不同的，但它们又是互相联系的，三个环节之间的区别与联系如下：

基础科学的任务，是探索客观世界的本质，寻求物理、化学、生物、社会等领域的变化过程的规律，揭示其中的事物从一种形式转化为另一种形式的机理。基础科学是认识客观世界的知识体系，是潜在生产力。

技术科学的任务，是将工程技术中带有普遍性问题的设计原理组织成一门学科，运用自然科学、工程技术、高等数学和计算数学的知识，利用和自然界的物质、能量、信息，寻求控制、应用和改进工程技术的手段和方法。技术科学是基础科学（潜在生产力）向工程技术活动（现实生产力）转化的中间环节，它有定向的目标。

工程技术的任务，是根据基础科学理论，运用技术科学原理，开发新技术、新工艺，并将它付诸实施的过程。它的手段是工程技术，它的操作是工程实施。工程师的职责就是在社会、经济和时间的约束条件下，研究工程技术，在工程活动中付诸实施。工程技术活动是改造客观世界的实践活动，是现实生产力。

3. 它坚持现代科学技术知识的基础是实践

现代科学技术体系是人类认识客观世界和主观世界的知识体系，从马克思主义认识论来看，认识阶段的划分如表 8-3 所示。

表 8-3

感性认识	理性认识		
前科学	科学技术	桥梁（部门哲学）	哲学

① 马克思恩格斯全集（3 卷）. 北京：人民出版社，1965：6.

现代科学技术知识虽然是非常庞大、复杂、高深，并且不断丰富、发展，但是归根结底来源于在实践基础上的感性认识，它们暂时没有进入科学技术知识的范围，因而是前科学。钱学森非常重视前科学，认为前科学直接来源于实践，是现代科学技术知识的基础。

首先，前科学是人类认识世界与改造世界的知识的重要组成部分。钱学森说：现代科学技术知识是指必须能够相互联系起来，构成一个体系的知识。但是，人们从实践中认识到的有些东西，如经验知识，它们是零散的、感性的，还不能进到科学技术知识的体系里，因此，人类的知识或者说人类的精神财富，总体上说应该"包括两大部分：一部分是现代科学体系；还有一部分是不是叫前科学，即进入科学体系以前的实践经验。"[①]从实践论的观点看来，随着认识的深入，一部分前科学，将来条理化了，纳入到科学的体系里，就成为科学技术知识的一部分。至于哪些暂时还不能纳入现代科学技术体系的前科学知识是很多很多的，一切从实践总结出来的经验，即经过整理的材料，都属于这一大类。因此前科学就是即待进入科学技术体系的知识。辩证唯物主义的观点认为，科学技术的体系绝不是一成不变的，人们认识客观世界的过程就是沿着"实践-前科学-科学技术体系"方向前进的过程。"所以我们决不能轻视前科学（经验知识），没有它就没有科学的进步；但也不能满足于从经验总结出来的知识而沾沾自喜，看不到科学技术体系还要改造和深化，因此要研究如何使前科学进入科学技术体系。"[②]

其次，前科学知识的认识程度是有层次的。前科学知识的特点是知其然而不知其所以然，但是它来源于实践，是很宝贵的。按照认识的程度，可以把前科学分为两个层次：一是不成文的实践感受；二是实践经验知识库和哲学思维。第二个层次的前科学知识在新的科学技术发展过程中有十分重要的作用，因为：一是它经过研究、提炼将成为科学知识；二是在钱学森提出的综合集成研讨厅体系中（由三部分组成：以计算机为核心的机器体系，专家体系，知识体系），它是其中的一个组成部分。

8.2　钱体系对我国科学技术发展的重要意义

科学技术是第一生产力，而社会主义的根本任务是发展生产力，理所当然地就是要大力发展科学技术。如何发展我国科学技术？钱学森创建的现代科学技术体系，它的认识论与方法论，对科学技术的发展提供理论与方法。

---

① 钱学森. 论人体科学与现代科技. 上海：上海交通大学出版社，2007：391.

② 钱学森. 论宏观建筑与微观建筑. 杭州：杭州出版社，2001：400.

8.2.1 制订发展科学技术政策的依据

发展科学技术的政策是根据社会主义现代化建地设的路线、方针制订的，它对全国科学技术工作起宏观指导作用。在制订时必须以下列情况为依据。

首先必须考虑现代科学技术发展的规律。从现代科学技术发展的基本过程——“科学-技术-工程”一体化的过程——来看，现代科学技术体系是一个有机联系的整体，它的发展包括基础科学、技术科学与工程技术三个层次，它们之间相互区别、相互联系、相互制约与相互促进。因此，在制订发展科学技术政策时，其中任何一个层次都不能偏废，在决定政策的重点时要从整体上考虑现代科学技术体系的结构和功能。

根据以经济建设为中心的基本路线，根据我国的科技发展水平和目前的经济条件，我国制订的科学技术发展战略划分为两大部分①：

1. 第一大部分

第一大部分是根据现代科学技术体系的纵向结构，分为如下的三个层次：

(1) 第一层次是工程技术

要大力发展面向国民经济建设的工程技术，其主要任务是：围绕工农业生产技术和装备现代化的关键问题，组织实施科技攻关，推广科技成果，推进传统产业的技术改造，提高管理水平，这方面的计划主要有：

① 组织实施以对国民经济建设有重大影响，以攻克综合性、全局性、关键性的重大工程技术项目为主的“科技攻关计划”。

② 依靠科学技术促进农村商品经济发展的“星火计划”、“燎原计划”、“丰收计划”和推进科技成果商品化的“科技成果重点推广计划”。

③ 围绕技术改造、技术创新与技术引进的“技术改造计划”、“新产品研究开发计划”、“技术引进计划”等②。

(2) 第二层次是技术科学

要高度重视发展以技术科学为理论基础的高技术及其产业。在当代以基础科学的新规律、新原理、新方法为创新源头的高技术已经成为国际竞争的“制高点”，哪一个国家抢占了这个“制高点”，就能取得主动，保持发展的势头。所以邓小平指出：“中国必须在世界高科技领域占有一席之地。”③1986 年经中央政治局扩大会议

---

① 周光召. 九十年代世界和中国科技事业与未来发展趋势. 昆明：云南科技出版社，1993.
朱丽兰. 当代高技术与发展战略. 昆明：云南科技出版社，1993.

② 朱丽兰. 当代高技术与发展战略. 昆明：云南科技出版社，1993：162.

③ 邓小平文选(3 卷). 北京：人民出版社，1993：279.

和国务院的审议批准的“高技术发展研究计划(即863计划)纲要”，就属于我国科学技术发展战略部署的第二层次。根据我国的具体情况，863计划的指导思想是：目标有限、重点突出，有所为而有所不为。国家组织实施了发展高技术的863计划和发展高新技术产业的“火炬计划”。“火炬计划”与863计划紧密衔接，它的宗旨是推动高技术成果商品化和产业化，促进高技术产业走向国际化。它的发展目标是形成具有相当规模的高技术产业群[①]。

(3) 第三层次是基础科学

基础科学研究在科学技术发展中起先导作用，必须确保基础科学研究持续稳定发展。我国基础科学研究的内容主要包括：

① 以认识自然现象、揭示客观规律为主要目标的基础研究。

② 围绕生产实践和学科发展提出的重大或广泛应用目标，探索新原理、开辟新领域的定向性研究。

③ 对基本资料数据进行系统的考察、采集鉴定，并进行综合分析，探索基本规律的工作[②]。

2. 第二大部分

第二大部分是根据现代科学技术体系的横向结构，根据对我国社会、经济、政治发展的意义，根据可能开拓的市场及技术上的可能性，选择重点突破的领域。在经过专家全面论证和反复修改，经中央政治局扩大会议和国务院的审议批准的863计划中，提出了如下的战略设想[③]：

(1) 在基础科学领域

重点是应用性基础科学的研究，应用性基础科学的特点是它的目的明确。根据国际国内情况，我国应加强对重大的工程技术的基础科学领域的研究。例如，对关键和共性技术、功能器件、材料、结构单元、工艺过程等进行深入的机理性、规律性的基础科学研究，为进行材料的人工设计、新体系结构的改革和创新进行跨学科的综合性基础研究。

(2) 在技术科学领域

以现代科学为基础的高技术，是当今国际竞争的制高点。根据我国的能力不能对高技术的所有领域全面铺开，必须目标有限、重点突出。必须根据我国经济发展的战略目标，为此，选择了对我国今后发展有重大影响的七个技术领域，即：生物、航天、信息、激光、自动化、能源、新材料。目标是：跟踪国际水平，缩小同国外先

---

① 朱丽兰. 当代高技术与发展战略. 昆明：云南科技出版社，1993：162.

② 朱丽兰. 当代高技术与发展战略. 昆明：云南科技出版社，1993：163.

③ 朱丽兰. 当代高技术与发展战略. 昆明：云南科技出版社，1993.

进水平的差距，并力争在一些有优势领域有所突破。

8.2.2 建立国家创新体系的框架

20 世纪末人类迎来了知识经济时代，中国经济体制改革的目标是建立社会主义市场经济体制，以利于进一步解放与发展生产力，应对知识经济时代以知识和信息为基础的、竞争与合作并存的全球化浪潮的冲击。知识经济不同于工业经济的特点在于：它直接依赖于知识和信息的生产、传播和应用；知识生产力成为生产力、竞争力和经济成就的关键因素；知识产业成为主导产业，它向经济提供市场所需要的中心资源。基础科学、技术科学与工程技术的研究，是形成知识生产力与知识产业的核心与基础，必须建立国家创新体制，以保证"基础科学-技术科学-工程技术"系统的研究的良性运行，通过国家创新体系整合国家的创新能力。

从现代科学技术体系结构看，国家创新体系必须包括以下组成部分：

（1）基础科学研究创新的体制

基础科学研究是指通过科学研究获得新的基础科学知识的过程，这是技术科学创新的基础和源泉。基础科学研究创新体系是由基础科学知识的生产、传播和转移相关的结构和组织构成的网络系统。其中起核心作用的是国立科研机构（包括国家科研机构和各部委科研机构）和教学科研型大学，还包括其他高等教育机构、大企业科研机构。基础科学研究一旦取得突破性的成果，往往会促进技术科学研究和工程技术开发，最终形成大的产业。政府必须在政策上、资源配置上给予有力的支持。中国科学院是基础科学研究的主力，长远性基础研究是它最重要的研究，适应经济体制改革的形势，它提出了"一院两种运行机制"和按比例地开展各类研究工作的方针[①]。

（2）技术科学研究创新的体制

技术科学研究是指把基础科学研究应用于工程技术提出的问题，其目的是研究、学习、革新和创造新技术、特别是制约经济社会发展的关键技术，这是产业结构升级换代和企业发展的关键所在。技术科学研究是基础科学研究成果转化为现实生产力的中介，是从潜在生产力转化为现实生产力的关键，必须在体制上给予保证。进行技术科学研究（应用研究）的核心是企业，还包括政府部门、科研机构、高等院校、其他教育培训机构、中介机构和基础设施等。由于企业是市场经济的基本单位，是最活跃的细胞，重大的、关键的应用研究往往非企业自身的力量所能完成，政府要在推动产、学、研三结合上，提出具体的政策措施，促进技术创新，促进科研成果转化为现实生产力。

---

① 周光召. 九十年代世界和中国科技事业与未来发展趋势. 昆明：云南科技出版社，1993：125,144.

（3）科学技术知识传播体系

它的主要作用是培养具有最新知识、较强的科研能力与创新能力的人才。科学技术的竞争最终是人才的竞争，加速培养和挖掘新一代科技人才，是体制改革中面临的最为紧迫的任务之一，要培养和造就一大批具有创新意识和创新能力的高素质科技人才。这一系统主要包括高等教育系统和职业培训系统，还包括科研机构、企业等。此外，国家还要重点建设一批国际知名的国家知识创新基地。

按照现代科学技术发展规律建构起来的国家创新体系，是增强自主创新能力的制度保证，它的功能是从系统的整体上协调知识创新、技术创新、知识传播和知识应用的活动，包括创新活动的执行、创新资源（人力、财力和信息资源等）的配置、创新制度的建立和相关基础设施建设等。因而国家创新体系是经济和社会可持续发展的基础和引擎，是培养和造就高素质人才的摇篮，是综合国力好国际竞争力的支柱和后盾。

8.2.3　推动科学创新与技术创新

钱学森在创建现代科学技术体系的过程中，提出我们要发展“科学技术是第一生产力”的理论[①]。他认为：在现代，科学革命在先，然后导致技术革命，最后出现产业革命，导致社会的变革。这个论断实际上就是“科学技术是第一生产力”观点的丰富与发展，是历史唯物主义原理的丰富与发展。可以将这个思想观点表示如下：

生产力革命——生产关系变革——上层建筑与意识形态的变化

科学革命、技术革命——产业革命（物质资料生产体系变革）——社会形态飞跃

19世纪末以来，通信科学技术的革命就是最明显的例证。无线电通信是人类通信技术史上一次伟大的飞跃，它经历了将近一个世纪的发展过程：

（1）科学革命

17世纪以来，物质存在的形式主要是源于古希腊原子论思想中的原子，牛顿力学称之为微粒。微粒是物体最小的部分，具有广延性、硬度、不可入性、可动性和惯性。牛顿力学从微粒的机械运动导出其他运动。

19世纪初法拉第（1791～1867年）发现电磁感应：电和磁不仅能够相互产生一个作用力，而且可以相互转化。通过对电场和磁场的研究，他提出了“场”的概念。改变了自牛顿以来认为可以通过空虚空间超距作用的观念。继法拉第之后，麦克斯韦（1831～1879年）建立了完整的电磁场理论体系，不仅科学地预言了电磁波的存在，而且揭示了光、电、磁现象的内在联系及统一性，完成了物理学的又一次大综合。电磁场是相互联系、相互依存的电场和磁场的统一体，是物质存在的另一种形式，电磁波是物质（电磁场）运动的一种形态。因而电磁场与电磁波的发现是人类

---

① 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：181.

认识上一场影响极为深远的科学革命。这场革命是由麦克斯韦发起并完成的，他在系统地总结从奥斯特到法拉第研究电磁现象取得的成果的基础上，写出了《电磁场的动力学理论》(1864年)一书，从理论上预言了电磁波的存在，并推导出电磁波与光具有同样的传播速度。电磁波是能量的一种，是由变化的电磁场在空间的传播形成的。1887年德国物理学家赫兹用实验证明电磁波的存在。

(2) 技术革命

麦克斯韦关于电磁波的预言和赫兹的证实，为通信方式从有线推进到无线提供了理论和实验的准备。1896年意大利发明家马可尼(1874～1937年)，通过发报机、收报机、天线等装置，完成了无线电报通信试验；1901年完成了横渡大西洋的无线电通信，这一试验的成功标志了无线电报开始进入远距离通信的实用阶段。1907年“无线电之父”德福雷斯特(1873～1961年)发明了三极管，它是无线电的心脏，成为电子工业诞生的起点，从此无线电通信技术迅速地发展起来。

(3) 产业革命

在社会经济发展的强烈要求下，无线电通信业迅速发展成为国民经济发展的基础产业，加速了经济全球化的进程。无线电通信发展史表明了：基础科学走在技术科学与工程技术前面，基础科学研究决定技术科学与工程技术的发展方向。

8.2.4 促进科学技术转化为现实生产力

近代科学发展时期，主要是从经验出发，通过归纳、演绎、分析、综合与概括等方法，形成科学理论，然后回过头来把理论应用于实践。它解决的是科学理论的形成与发展的问题。现代科学技术发展时期，则是从已有的认识成果(已形成的科学理论)出发，针对研究的问题提出假设，然后通过演绎(主要是逻辑推理与数学演算)设计出工程方案，最后通过工程实施活动，修改并检验设计方案的真理性。

现代科学技术发展过程主要是沿着两个相反相成的方向进行的：

一个方向是“科学→技术→工程→产业”的发展方向。

19世纪末，科学技术的发展过程出现了新的动向——“科学-技术-工程-产业”一体化与双向互动发展的新动向，它在科学技术发达的国家表现得尤为明显。

其中的一个方向是“科学→技术→工程→产业”的发展方向。最明显的例子是由麦克斯韦的基础科学研究开始的通信产业的形成与发展过程，即：

电磁场理论(1864年麦克斯韦)-电磁波发射(1887年赫兹)-无线电通信技术(1896年马可尼)-通信产业(1914第一次世界大战)

另一个方向是“产业→工程→技术→科学”的发展方向。

进入20世纪，以1942年曼哈顿工程(原子弹研制工程)的建造为标志的大科学、大技术、大工程的出现，对科学技术发展模式有了更深入的认识，可以表示如下：

基础研究-应用研究-技术研究-可行性研究-设计
-模型-试验-计划-生产-产品或服务
研究——————————发展————————————生产

这就把从理论到实践的第二次飞跃，它必须经过的中间环节，实现飞跃的转化条件，科学地阐明了。

可以说，工业革命发展史就是这一方向形成的历史。在工业革命蓬蓬勃勃进行的过程中，为了发展产业的需要，科学技术的一个新事物工业研究实验室应运而生，以工业发达国家中的后起之秀美国为例①：

1876 年伟大的发明家爱迪生创立了“发明工厂”，开始了经验型的工业实验研究时期。爱迪生通过反复试验的方法，摸索技术发明和创新的经验。

1900 年通用电气公司的建立，标志着应用现有的科学知识（应用科学）于工业研究的时期的开始。从此，工业型的实验研究转变到从科学知识出发，把技术与工程的发展建立在科学知识的基础上。

1925 年美国和世界最大的工业研究实验室——贝尔电话实验室成立，它标志着一个新的工业实验研究时期的开始。这时期工业企业发展的方向是进行基础科学的创造性研究，并将研究成果转变为新技术与新产品的发明与创造。工业企业的发展，是按照自己产品满足社会需要的方向，首先从基础科学研究上进行前沿突破。

1954 年贝尔实验室、通用电气公司、国际商用机器公司（IBM）和英特尔公司等大型企业的发展，表明了以基础科学研究领先的科学技术发展模式已臻于成熟，但一大批中小型企业的发展却相形见绌，这些企业由于资金少、科技力量弱和设备落后，无法应付高技术带来的挑战，因此产生了以硅谷为发源地的科技发展区。这个时期的特点是大、中、小企业、传统技术与高新技术企业分别按着自己的特点和长处，并行发展，各得其所，推动了科学技术的迅速发展和经济的腾飞。

“产业→工程→技术→科学”的发展，从相反的方向上把从产业到科学技术的飞跃，它经过的中间环节，以及转化条件，从科学上给予充分的论证，从而科学地阐明了“科学-技术-工程-产业”一体化的动力、机制、条件，这将大大加速“科学-技术-工程-产业”一体化的进程。

钱学森正是总结了 19 世纪末以来现代科学技术发展过程——“科学-技术-工程”一体化的过程——的规律性，提出了现代科学技术认识发展模式，即：

基础科学————技术科学————工程技术
第一次飞跃　　　　　　　　　　第二次飞跃

它是“由实践到认识，由认识到实践”这样多次的往复、螺旋形上升的过程。这

① 闫康年. 通向新经济之路——工业实验室是怎样托起美国经济的. 北京：东方出版社，2000.

一发展模式把近代科学与现代科学技术的认识过程都包括在内，在现代科学技术革命时代，它将大大加速“科学-技术-工程-产业”一体化的进程，加速社会生产力的发展。

钱学森的现代科学技术体系的认识论与方法论，是马克思主义哲学的丰富与发展，是科学技术认识过程的概括与总结。

参考文献

邓小平文选(3卷). 北京：人民出版社，1993.
马克思恩格斯全集(3卷). 北京：人民出版社，1965.
马克思恩格斯全集(17卷). 北京：人民出版社，1979.
梅森. 自然科学史. 上海：上海人民出版社，1977.
钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007.
钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007.
钱学森. 论宏观建筑与微观建筑. 杭州：杭州出版社，2001.
钱学森. 论人体科学与现代科技. 上海：上海交通大学出版社，2007.
闫康年. 通向新经济之路——工业实验室是怎样托起美国经济的. 北京：东方出版社，2000.
殷瑞钰，汪应洛，李伯聪，等. 工程哲学. 北京：高等教育出版社，2007.
周光召. 九十年代世界和中国科技事业与未来发展趋势. 昆明：云南科技出版社，1993.
朱丽兰. 当代高技术与发展战略. 昆明：云南科技出版社，1993.

第九章　钱体系与科学整体化发展的科技创新

2006年1月9日，国家主席胡锦涛在全国科技大会上宣布，中国未来15年科技发展的目标是：2020年建成创新型国家，使科技发展成为经济社会发展的有力支撑。建设创新型国家的决策，是事关社会主义现代化建设全局的重大战略决策，其战略目标就是把增强自主创新能力作为发展科学技术的战略基点，努力推进以下的工作：

① 发挥社会主义制度能够集中力量办大事的政治优势，加快建设国家创新体系，深化科技管理体制改革，走出中国特色自主创新道路，以推动科学技术的跨越式发展。

② 增强自主创新能力，以此作为调整产业结构、转变增长方式的中心环节，推进原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新，着力突破制约经济社会发展的关键技术，推动国民经济又快又好发展。

③ 增强自主创新能力作为国家战略，激发全民族创新精神，培养高水平创新人才，形成有利于自主创新的体制机制，推进理论创新、制度创新、科技创新，不断巩固和发展中国特色社会主义伟大事业。

如何增强自主创新能力？这是贯彻落实建立创新型国家的核心问题。钱学森创建的现代科学技术体系，对这个问题提出了科学的理论依据。从总体上看，现代科学技术发展过程是一个系统的过程，而创新则是贯串整个过程的动力。

9.1　从钱体系看科技创新

钱学森的现代科学技术体系是科学整体化发展的体系，它从纵向上把人类认识世界、改造世界的过程划分为如下的四个阶段：

前科学-科学技术-桥梁（部门哲学）-哲学

这四个阶段的创新是互相区别又互相联系的。把“由实践到认识，由认识到实践”多次反复的过程，从宏观上与动态上划分为四个阶段，这就为深入地理解现代科学整体化发展过程的创新概念与创新机制，提供科学的理论依据。

（1）前科学认识过程的创新

前科学是在实践基础上的感性认识过程，按照感性认识的深浅程度，钱学森把它分为下列两个层次，即：

不成文的实践感受-实践经验知识库和哲学思维

与此相适应，前科学创新也划分为两个层次，即：

实践感受的创新，如工人根据经验进行的工具或工艺的改革；

实践经验知识的创新，如编制的专家系统，制订的操作规则。

(2) 现代科学技术认识过程的创新

钱学森按照“实践-认识-再实践-再认识”的观点，总结现代科学技术发展过程，提出它是按照下列三个环节循环往复地进行的，即：

基础科学——技术科学——工程技术

第一次飞跃——中间环节——第二次飞跃

与此相适应，科学技术创新也应划分为三个层次，即：

基础科学创新(通常称科学创新)，如普朗克的量子论、爱因斯坦的相对论等；

技术科学创新(通常称技术创新)，如威尔逊的固体能带理论、香农的信息论等；

工程技术创新(通常称创新工程)，如美国的“阿波罗登月工程”，我国的“两弹一星工程”等。

(3) 不同科学技术部门的创新

现代科学技术体系从横向上看，基础科学有十一个大部门；技术科学有成千上万个门类，如信息科学、管理科学、农业科学、材料科学、能源科等；工程技术有数以万计的门类，它们遍布于人类的各种各样的活动中。显然，在不同的基础科学领域、不同的技术科学研究、不同行业的工程技术，其创新是千差万别的。

总结上述，现代科学技术创新是一个系统的整体，整个发展过程是有序的、有层次结构的、相互依存与相互促进的和动态的。现代科学技术创新是一项开放的复杂系统工程，必须根据现代科学技术发展规律，从现代科学技术体系结构的总体出发，考虑国家创新体系中各方面的相互联系与相互作用，给予体制上的保证①。

9.2　基础科学研究创新

9.2.1　何谓基础科学研究创新

马克思说过自然科学是一切知识的基础，而物理学则是自然科学的最重要的组成部分，因而物理学是基础科学的基础，关于何谓基础科学研究创新，可以从物理学的创新得到一个明确的概念。

爱因斯坦认为：物理学理论包括三个组成部分，即：基本概念、基本定律与应用逻辑推理得出的一系列推论。因而物理学知识包括两个紧密地相互联系的部

① 路甬祥.关于建立国家创新体系.见：路甬祥.创新与未来.北京：科学出版社，1998.

分，即：

① 理性知识，它是概念和命题的集合，其中的基本概念与基本命题是“人的创造物”[①]，是“人类头脑的一种自由创造”[②]。理性知识可以由逻辑推理得到。

② 经验知识，它是在观察与实验的基础上获得的知识，是感觉经验的总和。经验知识不能由逻辑推理得到，伽利略看到了这一点，并向科学界谆谆不倦地教导了这一点，“他才成为近代物理学之父——事实上也成为整个近代科学之父。”[③]

因此，物理学理论的创新包括：基本概念的创新（提出新的观念）与新事实的发现，以及基本假设的创新（提出新的思想）。这是基础科学创新的涵义，它是物理科学技术创新的源头，然后才有由此带来的技术上与工程上的新发现、新方法、新技术。

9.2.2　基础科学研究创新是源头

从现代科学技术认识发展规律看，基础科学研究创新是原创性的，是“科学-技术-工程-产业”一体化过程中具有重大突破的创新，是由此引发的一系列创新的源泉。在科学技术发展史上，从 19 世纪开始，“科学-技术-工程-产业”的发展过程，实际上就是由基础科学研究创新启动的，如：化学工业的源头是以李比希为代表的化学家对有机化学的研究；电力工业的源头是以法拉第和麦克斯韦为代表的科学家对电磁学的实验与理论研究；高分子合成材料工业的源头是以斯陶丁格为代表的化学家对高分子化学的研究，等等。

9.2.3　基础科学研究创新的基本过程

赫尔姆霍兹、庞加莱、阿达玛等等著名科学家根据他们进行科学研究的经验，总结出基础科学研究过程必须经历的几个阶段：

（1）提出要研究的问题

在这个阶段上围绕问题进行周密的调查研究，搜集与问题有关的研究成果，用已有的理论进行逻辑分析，主要用比较、分析、综合、概括、演绎、归纳等逻辑方法。这是有意识地积累有关背景知识（主要是基础理论、专业理论和相关学科的理论以及有关的事实根据）的阶段。

（2）分析问题

根据已有的理论和搜集到的事实，对研究的问题提出各种可能的解决方案，也就是提出新概念、新假说，然后据以进行逻辑推理，并进行实验检验。这一阶段实

---

① 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集（1 卷）. 北京：商务印书馆，1976：3.

② 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集（1 卷）. 北京：商务印书馆，1976：342.

③ 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集（1 卷）. 北京：商务印书馆，1976：313.

际上是不断地试错的过程,它往往要经过多次甚至无数次的失败。在"山重水复疑无路"的情况下,研究者仍然日思夜想,进入"如醉如痴"的境界。这是有意识的思维(逻辑思维与形象思维)和潜意识的思维(直觉、灵感、顿悟)交替作用的阶段。

(3) 问题的突破

这是创造性思维过程的关键阶段,在这个阶段上突破陈旧的观念,摆脱思维定势的束缚,创造性地提出新观念、新思想、新方法。开始时这只是思想的闪光,是模糊不清的,或者是带有错误成分的,还必须经过进一步整理、修改和完善的逻辑加工过程才能形成。应该指出,新观念、新思想产生的时间往往很短,甚至只是一瞬间,而逻辑加工的过程却需要很长的时间,只有经过逻辑加工,对问题的解决方案才能明朗,问题的症结才能揭露无遗,只是在这个时候,新假设才成为可以检验、评价的方案。这个阶段也是有意识的逻辑思维和潜意识的玄想交替作用的阶段。

(4) 对新概念、新假说的证明和检验

新概念、新假说是否能成功地解释未知现象、是否能预见新现象,只有经过实践检验、评价才能确定。这个阶段主要是设计、安排实验与观察,检验由新假说逻辑地推演出来的新结论是否正确。在检验新假说时,新的实验与观察的执行人可以不同,时间的长短也有差别,检验的结果可以是新方案的证实,或证伪,或一部分被证实而另一部分被证伪。这一阶段基本上属于逻辑思维,是有意识地进行的。

可以把上述过程刻画为:

问题-经验事实-假设-推论-证实或证伪

9.2.4 基础科学研究创新是引发科学革命的动力

基础科学研究创新改变了原有的理论的基本概念,或基本假说,或基本事实,是重大的科学发现,它必将引起一场科学革命。在科学发展史上这是屡见不鲜的。这里,以影响世界历史进程的达尔文进化论为例来说明。

1. 达尔文生物进化问题的提出

在生物界物种起源的问题上,占统治地位的创世说认为,物种是上帝创造的,物种不变。这个观点牢固地占据人们的头脑长达一千多年。达尔文从小就深信《圣经》的教义。他所处的时代英国工业资本主义已经得到充分的发展,为了开拓殖民地,寻找销售市场和原料基地,英国海军部组织了"贝格尔"号进行环球的科学旅行。达尔文参加了这次长达五年(1831～1836年)的科学旅行,获得了大量有关物种变化和进化的观察材料。他通过比较、分析,认识到:不同地区的生物种类不同;生物之间有着血缘关系;生物化石中有物种的过渡形式,等等。这些经验事实与物种不变论的观点完全相反,这就迫使达尔文提出问题:"新的物种是怎样出现的?"正是这个问题激发了达尔文对生物进化的研究,在《达尔文回忆录》中他说:

"贝格尔舰的航行，在我的一生中是极其重要的事件，它决定了我的整个事业。"①

2. 达尔文对生物进化问题的分析

首先是观察方法与实验方法。现代实验科学的始祖培根提出："感觉是完全可靠的，是一切知识的泉源。"②达尔文的科学研究就是以大量观察事实为依据的。其次是比较方法与分析方法。马克思指出：科学是实验的科学，但它同时又必须用理性方法去整理感性材料，归纳、分析、比较、观察和实验是理性方法的主要条件②。达尔文用科学的比较方法分析和整理他搜集到的观察事实。

达尔文根据科学旅行观察得到的资料，和他进行人工饲养试验的结果，采用了下列科学方法对生物进化问题进行分析：

① 空间比较。他把加拉帕戈斯群岛同南美洲的生物相比较，得出结论：第一，物种在地理上的差异，表明物种在不同生活条件下会不断发生变异；第二，岛上的物种和大陆上的物种相似，证实二者之间有亲缘关系。

② 时间比较。他通过生物化石，把南美洲彭巴草原的地层中挖掘到的古代哺乳类动物化石（属第三世纪），与现存的同属动物相比较，发现它们有较近的亲缘关系；再进一步把不同地层的化石与现存类型的属科或目之间排列对比，得出结论：第一，生物的种、属、科或目有其历史渊源；第二，物种的相对性与时间成正比，时间相隔越远，类型越古老，它与现存物种的差异就越大。

③ 人工饲养与自然繁殖比较。达尔文以家鸽为试验样本，把它分成四大类十一个族，每一个族下又有若干个亚族。进行人工饲养与自然繁殖的变异比较，试验结果表明：家养动植物彼此之间的差异，常较自然界任何同类物种或变种的差异大。

④ 器官比较。脊椎动物（如人、猿猴、鸟、鲸、蝙蝠、鼹鼠等）的前肢都是同源器官，是由适应环境而分化出来的；不同物种（如蝙蝠、蜻蜓等）为适应相同的环境而分化出相同的器官，这是同功器官。同源器官和同功器官表明生物的变异和演化。

3. 达尔文提出进化的新观点

达尔文经过对大量观察事实进行科学的比较与分析后，提出"物种是进化的"新观点，这是有他深厚的思想理论基础的。在这方面达尔文具备了以下几个条件：

① 生物学及相关的知识。达尔文在爱丁堡大学医科学习时，学过动物学、地质学、解剖学、博物学等知识。

② 进化论的思想。达尔文早年就接触到拉马克的进化学说，即：由于环境变

① 达尔文回忆录. 北京：商务印书馆，1982：44.

② 马克思恩格斯全集（2卷）. 北京：人民出版社，1965：163.

化引起生物变异，从而适应环境。1832 年，环球考察期间达尔文阅读了刚出版的赖尔的《地质学原理》(1831 年)，其中论述了地质渐变思想和将今论古的方法。

③ 马尔萨斯《人口论》(1798 年)的启发。马尔萨斯认为：人口以几何级数增加，而生活资料只以算术级数增加，这就必然引起人与人之间激烈的生存斗争。达尔文把人类社会的生存斗争与自然界物种的生存斗争相类比，提出“自然选择”的学说。

4. 达尔文对生物进化新观点的论证

达尔文提出“物种是变异的”新观点，必须进行逻辑论证，首先要对“物种为什么会变异?”的问题，作出合乎逻辑的解释，建立生物进化论的理论体系，这就是：

基本概念：生存竞争、适者生存、遗传、变异；

基本假设：所有物种都有很高的繁殖力，它按指数增长；任何物体的群体除很小的变动外每年都是稳定的；任何物种都有遗传变异。从前两者合乎逻辑地得出“一切生物都面临生存竞争”；

基本规律：生存竞争→变异→遗传。

达尔文进行了大量人工选择实验，把所得的变异与自然选择条件下的变异相比较，验证了他提出的观点。

9.3 技术科学研究创新

何谓技术科学研究创新。技术科学是联系基础科学与工程技术的中介，它运用基础科学知识解决工程问题，它是“科学-技术-工程-产业”一体化过程中的重要组成部分。在现代科学技术发展过程中，R&D(研究与发展)就是把基础研究成果发展为新技术、新工艺、新产品。这个技术创新过程是由技术科学研究承担的。技术科学研究根据基础科学研究成果，开发出新的技术、工艺或方法，就是技术科学研究创新。

技术科学研究创新的范例。钱学森的《工程控制论》，其内容是技术科学。这是钱学森在系统科学的技术科学层次上的重大创新。钱学森在工程控制论方面作出了开创性、前瞻性的贡献，特别是他把控制论与系统科学、复杂性探索结合起来考察，给我们提供了方法论的指导。

9.3.1 工程控制论研究的重大突破

科学界很多人认为，相对论、量子论和控制论是 20 世纪上半叶的三大科学发现，是人类认识世界与改造世界的三大飞跃。但是，1948 年维纳发表《控制论》时，却在学术界掀起轩然大波。其主要原因是：维纳的《控制论》是一部充满哲学思想，

涉及世界观、认识论与方法论的科学著作。哲学的语言使《控制论》难于理解，难于透过《控制论》的哲学思想发现它与科学技术的联系。因此，《控制论》诞生之初，对它的深刻的思想，许多人不能理解甚至遭到诬蔑。一些人抓住该书的副标题"动物和机器中的控制和通信"大做文章，提出质疑甚至激烈反对。他们振振有词地指出：人是动物中的一员，把人和机器并列，以至等同起来，这是现代机械论新的表现形式；他们甚至提出，维纳公然声称"信息既不是物质，也不是能量"，这个观点是与唯物主义的观点对立的。唯物主义认为，世界是物质的，能量是物质的运动。因而苏联和东欧都把维纳视为反动的伪科学家，他的理论是为帝国主义辩护的。

其实，维纳控制论思想的实质是科学地指出：一个控制系统必须根据周围环境的变化，自己调整自己的行动，它具有一定的灵活性和适应性。维纳的观点是，客观世界存在着三大要素：物质、能量和信息；动物和机器虽然在物质构造和能量转换方面有着显著的不同，但是，在信息传递、处理反馈控制方面存在着许多共性，因此维纳把控制论定义为"研究动物和机器中控制和通信的科学。"

1954 年钱学森的《工程控制论》出版，是维纳控制论的重大发展[①]：

① 它把工程控制论研究的对象明确定义为："研究控制论这门科学中能够直接用在工程上设计被控制系统或被操纵的那些部分。"

② 它明确指出工程控制论研究的特点，是"完全不考虑能量、热量和效率等因素。"

③ 它指出工程控制论的学科性质，这是一门技术科学，技术科学的目的是把工程实际中所用的许多设计原则加以整理与总结，使之成为理论，也就是从理论上分析工程的各个不同的领域的共同问题。

因而工程控制论可以使科学技术人员获得更广阔的眼界，用更系统的方法去观察技术问题，去指导千差万别的工程实践。工程控制论是控制论的一个新的分支学科，它的内容属于技术科学。因此，《工程控制论》很快为科学界所接受，促进了人们对维纳《控制论》的理解，吸引了大批数学家和工程技术专家从事控制论的研究。

由于钱学森的《工程控制论》的影响，苏联不再将《控制论》称作"反动的伪科学"，反而积极参与《控制论》和《工程控制论》的研究。1956 年，苏联发行了俄文版的《工程控制论》，并将辞书中的《控制论》定义为："研究信息和控制一般规律的新兴学科"。1960 年 9 月在莫斯科举行第一届国际自动控制联合会代表大会。当时钱学森是中国自动化学会的主席，但由于当时中苏形势，中央考虑到这位中国航天事业的科技主帅的安全，改派武汝扬代表出席。与会代表齐声朗诵钱学森在《工程

① 钱学森. 工程控制论. 上海：上海交通大学出版社，2007：2.

控制论》序言中的名句来表达对他的敬意①：建立这门技术科学"使我们可能有更广阔的眼界用更系统的方法来观察有关的问题，因而往往可以得到解决旧问题的更有成效的新方法，而且工程控制论还可能揭示新的以前没有看到过的前景。"

工程控制论是技术科学研究创新，技术科学是联系基础科学理论与工程技术实践的中间环节，从认识论的观点看来，它是"实践和理论相互转化"的中介。钱学森创建的《工程控制论》，是以火箭技术为应用背景的自动控制理论，是在维纳《控制论》的科学哲学思想指引下，专门对控制与制导方面进行创造性论述的著作，它大大拓展了控制论的思想，开辟了一系列控制方面的新方向——信息时代控制技术未来的发展方向。

控制论是关于机械系统与电气系统的控制和操纵的科学，维纳的控制论就是关于怎样把机械元件和电气元件组合成稳定的并且具有特定的性能的系统的科学。控制论的特点正如钱学森所指出的：它完全不考虑能量、热量和效率等因素；它研究的主要问题是：一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质，以及整个系统的总的运动状态②。

工程控制论不同于控制论的地方是：它吸收了维纳《控制论》中能直接应用于工程设计的内容，吸收了伺服系统理论的成果，但是紧密地结合第二次世界大战中发展起来的控制与制导工程技术的实践经验，特别是钱学森自己在喷气推进和火箭技术研究中有关系统控制的经验。因而工程控制论是一门技术科学，是控制论的一个分支学科，而伺服系统工程则是一种工程实践。

从历史发展过程来看。在古代，人类就梦想构造一些机器，能够代替人自动完成某些复杂的操作，最早实现自动控制的机器，包括自动计时、自动定向、利用水力与风力的自动装置，等等。在近代，在工业革命的过程中，1788 年瓦特发明了离心加速器，它能自动调节进汽阀门，以保证蒸汽机转速的稳定和蒸汽能量的有效利用，这实际上是具有反馈调节的控制系统。1868 年麦克斯韦为避免反馈超越一定的"度"出现自激振荡，研究了反馈调节系统的稳定性问题，发表了《论调节器》。

钱学森把控制论与系统科学、复杂性探索结合起来考察，在控制论方面作出了开创性、前瞻性的贡献，给我们提供了方法论的指导。

9.3.2 经典控制理论形成并发展

20 世纪 40～50 年代，控制论研究的是机械系统和电子系统的控制，主要是在工业生产和武器装备方面，如锅炉水位的自动控制，蒸汽温度、水轮机转速、发电机电压和频率、电动机转速等的自动控制，高射炮的自动跟踪装备，军用飞机和舰船

---

① 许国志. 系统研究. 杭州：浙江教育出版社，1996：3.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：2.

的自动驾驶仪等。如图 9-1 所示。

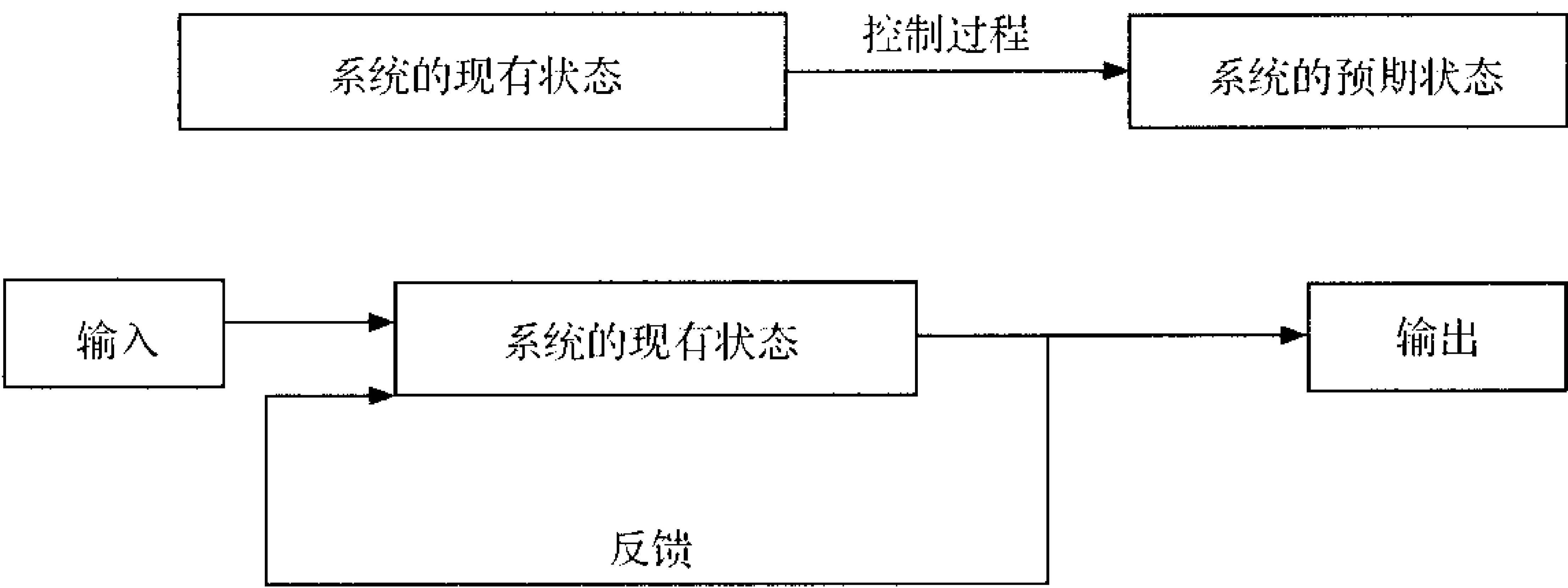


图 9-1

控制总是在信息传递、变换和利用中进行的，信息传递的方法就决定着控制的方法。经典控制论所研究的控制系统都比较简单，且多属于工程方面，单输入单输出的线性常数系统是其主要研究对象。对这些系统的控制方法是：通过信息传递函数来研究系统的动态特性，从而处理系统的稳定性问题。所谓传递函数就是在零初始条件下，输出的拉普拉斯变换与输入的拉普拉斯变换之比。这时期的主要成就是建立了系统、信息、控制、反馈、稳定性、"黑箱"等基本概念与分析方法，为控制论的进一步发展打下了基础。

9.3.3　现代控制论的形成与发展

20 世纪 60 年代，随着导弹、人造卫星、航天工程、高能物理、电子计算机等科学技术的迅猛发展，控制论已从经典控制论发展成为现代控制论。在第三次工业革命深入发展过程中，现代工业生产朝着大型化、连续化和自动化的方向迅速发展，现代工程系统也随之朝更加复杂的方向发展。现代工程系统大都是多输入、多输出的，是时变的（系数不是常数，而是时间的函数）。对这类复杂系统经典控制的理论与方法已无能为力，于是在 1960 年左右兴起了现代控制论，它描述系统的基本方法是状态空间法，描述系统的模型是状态方程。

状态空间。系统的状态，用决定它的行为的一组值来描写；如果系统的每个状态都表示为一个点，那么由这些点构成的空间就称为状态空间。

状态方程。系统状态随时间变化有一定的规律，状态方程就是描述状态变量随时间变化的规律的。

现代控制论具有以下几个特点：

① 系统状态的描述空间化。经典控制论时期，描述系统的动态过程与动态特性，主要用微分方程（或差分方程）与传递函数方法。现代控制论时期，引进了状态和状态空间的概念，描述系统的动态过程与动态特性，主要用状态空间模型。系统状态的描述空间化是现代控制论的最大特点，它大大简化了问题的处理，并且便于

用计算机求解。

② 系统概念的广义化。经典控制论研究的系统主要是单输入单输出的线性系统;而现代控制论研究的系统不仅包括单输入单输出的线性系统,而且推广到多输入多输出的非线性系统,现代控制论的应用范围扩大了很多。

③ 理论分析的计算机化。由于系统的复杂性使相应的理论分析更为复杂,因此,现代控制论的许多分析方法必须注重如何利用计算机,使分析方法更有效、更可靠。

④ 性能(目标函数)的最优化。经典控制论的设计方法常常用试错法;现代控制论引进了"性能指标"(或目标函数)的概念,在满足一定约束条件的前提下寻求最优控制,使性能指标取最优值,使系统能"动态最优地"达到预期的目标。

9.3.4 大系统控制理论的兴起

20 世纪 70 年代,随着现代科学技术综合化、整体化的趋势,随着控制论的应用范围愈来愈广,一大批规模庞大、结构复杂、目标多样、功能综合、因素众多的大工程系统出现,于是兴起了大系统控制理论,它研究这些大工程系统的控制和信息的过程的共同规律,是控制论、信息论、经济学、生态学、社会学等相互渗透、相互融合的交叉科学研究。控制论从现代控制论发展为大系统控制理论。大系统控制论是面向工程技术、社会经济、生物生态等领域,研究开发大规模复杂控制与管理系统的建模、分析与设计的理论、方法和技术的一门新学科,是大系统理论与人工智能相结合的产物,也是控制论向复杂大系统广度发展的新分支。

对于大系统控制来说,由于它的变量众多,结构庞大而复杂,所以现代控制论的状态空间分析法已经不能完全适应了。现在大系统控制的方法主要有:分解-协调原理、分散最优控制、多级递阶控制、大系统模型降阶理论、向量李雅普诺夫稳定性理论等。但是,大系统控制的分析和研究还没有一个统一的方法,它处在发展阶段。

目前,大系统的控制方式大致可分为三类:一是集中控制,由中央控制室对系统进行集中检测和控制。所有信息都集中到中央控制室,作为决策和控制的基础;所有控制指令都由中央控制室直接发出。二是分散控制,把控制大系统的总任务分配给若干个控制器来完成,每个分散的控制器只需获得大系统的部分信息,对系统的组成部分和过程进行局部控制。三是多级递阶控制,它可以是两级、三级、四级、甚至更多级的控制系统。在多级递阶控制系统中,第一级是直接作用于被控对象或过程的局部控制器,它们所进行的是下一级"基层"的决策,完成的是局部控制任务。第二级是对第一级控制器进行协调工作,它进行上一级的决策,完成较大范围的决策与控制。以下各级控制器完成类似的任务,不过控制范围与集中控制的程度都逐级加大。最后一级控制器完成整个大系统的控制。由此可见,多级递阶

控制既兼顾了集中控制和分散控制的优点，又克服了两者的缺点。

9.3.5　钱学森工程控制论的创新

在从经典控制论到现代控制论的发展过程中，系统思想与控制思想空前活跃；贝特朗菲的一般系统论，维纳的控制论，香农的信息论，冯·诺依曼的决策论和博弈论，阿什贝的控制论纷纷建立。当时控制论发展的基本情况是：较多地讨论哲学思想和方法论；用控制论解决工程实际问题是关注的焦点，但是控制过程的发展水平较低，大多限于单回路线性调节或伺服系统设计。

正是在控制论发展的关键时刻，1954 年钱学森的《工程控制论》是控制论发展过程中重大的创新，它的新思想、新成果表现在以下方面：

1. 工程控制论的特点

它不同于控制论的特点是：

(1) 从技术科学的角度出发

20 世纪 50 年代控制论面临的情况是：一方面是经典(伺服)控制系统理论，它从工程实践的要求出发，把控制论看成是关于机械系统与电器系统的控制与操纵的科学；另一方面是维纳的控制论，它从哲学、认识论与方法论出发，认为控制论是关于动物和机器的控制与通信的科学。

钱学森吸收伺服系统理论的成果，结合第二次世界大战中发展起来的控制与制导工程技术的实践经验，特别是他自己在喷气推进和火箭技术研究中有关系统控制的经验，从技术科学的角度，把控制论的主要问题概括为：系统的不同部分之间相互作用的定性性质，以及由此决定的整个系统总体的运动状态；而工程控制论则是研究控制论中能够直接用在控制系统工程设计的那些部分。它是一门技术科学，其任务是把工程实际中各种控制与操纵的原理、方法，总结成理论。

(2) 从控制理论与工程实际的结合上回答时代的要求

在经典控制论(传递函数、频域法)向现代控制论(状态空间)转变的过程中，一方面是工业、国防等方面不断提出新的技术需求，与此同时，电子计算机日益广泛应用，控制系统数字理论方法的发展，要求古典控制理论有重大的突破。另一方面，必须对维纳控制论、香农信息论、贝特朗菲一般系统论、冯·诺依曼博弈论等的科学成果作出肯定，但是同时，也要在综合它们的成就的基础上，以系统的观点，提出技术科学的方法论，运用系统学、控制工程理论与工程技术解决第三次工业革命带来的大量实际问题。

2. 工程控制论的基本内容

控制理论是工程控制论的核心，它是从工程技术问题的需求中产生和发展起

来的。经典控制论只能处理简单的对象,数学模型比较单纯,基本上是单变量常系数线性微分方程,控制的目的只是要求稳定性和一定的动态品质。20 世纪 60 年代前后,由于人类对空间的探索和大型工业生产过程的自动控制的需求,最优性能控制指标成为控制理论研究的热点。微分方程、线性代数、最优化理论等数学工具,引入控制系统的设计中。用线性微分方程或差分方程描述动态过程,产生了一些深刻的理论成果,如系统能控性、能观性、卡尔曼滤波等。

3. 从工程控制论上升到系统科学

20 世纪 60 年代以来,由于微电子和计算机技术迅猛发展和广泛普及,渗透到社会生产、生活和科学技术的每一角落,带动了与系统科学相关的各学科的突飞猛进。系统科学的研究形成了一股热潮。出现了普利高津、哈肯、艾根等的著作。1979 年钱学森创建了系统科学的体系结构,阐明了它与马克思主义哲学和自然科学、社会科学的关系,研究了系统科学的结构、内涵、应用等方面的问题,指明了系统科学对中国现代化建设的现实和长远意义。90 年代后,微电子和计算机科学的巨大进展,带动了智能科学技术的发展,系统科学早已超出最初在生产和技术领域的应用范围。成为现代科学技术研究和人类所有智力活动最有力的武器,如使经典人口学家震惊的"控制论在人口学中的应用"。

现实世界有很多复杂的巨系统,如社会系统、生态系统、生物进化系统,特别是人体系统,科学至今还不能完全理解它,不会准确地描述它,还没有合适的工具和手段。钱学森提出处理复杂巨系统的方法:从定性到定量综合集成法,以及从定性到定量综合集成研讨厅体系;它是人机结合系统,由专家系统(理论和经验)和计算机系统(信息采集、处理、存储)组成。

9.4 工程技术研究创新

工程技术创新是工程创新的重要内容。从工程过程的四个阶段看,工程创新包括工程规划创新、工程设计创新、工程建造创新与工程管理创新,工程技术创新是贯穿于这四个阶段的,因而是工程创新的重要内容。工程是在各类技术的选择和集成过程中,以及对各类社会经济资源配置过程中,构成集成优化、构成优化的工程系统。工程技术创新是集成创新。如航天工程需要将发动机技术、燃料技术、新材料技术、控制技术、测量技术、安全技术、航天医学技术等多种技术进行集成,才能最终把航天员送上太空。

系统工程是工程技术的集成创新。钱学森自主创造的有中国特色的系统工程,是工程技术集成创新的光辉范例,这主要表现在以下几个方面:

（1）系统工程是组织管理的普适的科学方法

所谓系统是指“由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体。”[①]现代社会是一个有组织的社会，人们的社会实践活动都是在组织管理下进行的。任何一个组织都是一个系统，如工厂、企业、学校、医院、行政机关等组织都是系统，因此，系统工程方法可以从工程的系统推广应用到非工程的系统；可以从工程系统工程发展到经济系统工程和社会系统工程（组织管理社会主义建设的技术[②]）。所以，系统工程是各类系统的组织管理的科学方法，它是普遍适用的。

现代重大工程项目，如美国“阿波罗载人登月计划”有 42 万人参加，我国火箭导弹研制任务有数以万计的人参加。如何在最短时间内，以最少的人力、物力和投资，最有效地利用科学技术最新成就来完成，这就需要对自泰罗后发展起来的科学管理的理论与方法进行革新，要使用一套组织管理的科学方法，这种科学方法就是“系统工程”。它“是组织管理‘系统’的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有‘系统’都具有普遍意义的科学方法。”[③]

（2）系统工程突出信息与控制在组织管理中的作用

系统工程的对象虽然千差万别，结构十分复杂，但它们都是由下列六个要素组成[④]：

人。在一切组织管理系统中，人是第一要素，是社会实践活动的主体。

物。它包括三个要素：物质条件，即物资，如原料、能源、半成品、成品等，它们是进行实践活动的基础；物质手段，即设备，如土木建筑、机电设备、工具、仪表等，它们是进行实践活动必备的手段；财力，即现金、流动资金等，这是购买物资设备与付与工作人员报酬所必需的。

事。它包括两个要素：任务指标，这是上级下达的任务，或是与其他单位签订的合同，是工程活动要求达到的目标；信息，如数据、图纸、报表、规章、决策等，是工程活动全过程中必须随时掌握的。

工程控制论研究系统各个组成部分如何进行组织，以便实现系统的稳定和有目的的行动，而管理实质上是对系统的指挥、控制、协调与组织，其中控制起关键作用。在现代社会中任何组织、任何活动都需要进行控制，这是因为在制订计划时即便是进行了全面的、细致的预测，考虑了实现目标的有利条件，但由于外部环境是变动不定的，而且在执行计划的过程中可能会出现偏差，还会发生未曾预料到的情

① 钱学森，著. 工程控制论. 上海：上海交通大学出版社，2007：2.
② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：13.
③ 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：3.
④ 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：4.

况，这时候控制就起到执行计划的保障作用。可以说，如果没有控制，就会指挥失灵，协调破局，组织涣散，因此信息与控制在系统工程中有着非常重要的作用。钱学森不仅精通控制论，而且把它应用到工程实践中，尤其是在信息科学技术蓬勃兴起的时代，他结合火箭导弹研制的组织管理经验，独立自主、创造性地提出系统工程方法，必然大大超越工业革命时代的科学管理的水平。当时流行的科学管理方法，如泰罗的"工时定额"（即在作业环境标准化的条件下，完成一道工序必需的时间），甘特的"日平衡图"（即生产计划进度图），休哈特的"控制图"，把数理统计方法引入到质量管理中，等等，只是管理科学方法发展的初级阶段。

（3）系统工程把信息与控制独立出来，作为现代组织管理中一个非常重要的部门

控制论20世纪40年代末由维纳奠基，50年代钱学森把控制论原理成功地应用于工程系统，60年代现代控制论发展形成的大系统，把控制论方法推广到非工程系统。面临新的发展形势，钱学森提出"总体设计部"，把信息与控制作为现代组织管理中一个部门，这是组织管理工作发展新阶段的需要。

在古代，个体劳动者按照一定的目的来协调他的活动方式和方法，并且随着不断出现的新的情况来修改原来的计划。在整个劳动过程中，他既是管理者也是劳动者。

16世纪中叶至18世纪末叶工场手工业时期，出现了以分工为基础的协作，在许多人共同劳动的过程中，需要指挥以协调个人的活动。换言之，在一切规模较大的工程技术中都有协调问题，都需要有个指挥来从总体上协调个人的活动。在工场手工业里，这个指挥就是"监工"。

18世纪末至20世纪初工业革命过程中，出现了分工更细的大工业的生产过程。在制造一部复杂的机器设备时，如果它的一个个局部构件彼此不协调，相互连接不起来，那么，即使这些构件的设计和制造从局部看是很先进的，但这部机器的总体性能还是不合格的。因此，必须有个"总设计师"来"抓总"，协调设计工作①。

从20世纪初以来，现代科学技术活动的规模有了很大的扩展，工程技术装置复杂程度不断提高。特别是许多大型的工程如40年代美国研制原子弹的"曼哈顿计划"，60年代美国"阿波罗载人登月计划"，其参加人员数以万计，要指挥规模如此巨大的社会劳动，靠一个"总工程师"或"总设计师"是不可能的。于是出现了"总体设计部"，它由熟悉系统各方面的专业知识的技术人员组成，并由知识面比较宽广的专家负责领导。"总体设计部"的任务是设计系统的"总体"，系统的"总体方案"，实现整个系统的"技术途径"，但它不承担具体部件的设计②。

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：2.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：2，3.

系统科学发展历经三个里程碑，三条主线。从钱学森对系统工程、系统技术与系统科学的研究与创建过程中，可以看出，系统科学的思想与方法贯穿于钱学森大半个学术生涯中，他在现代科学技术转向综合化、整体化的历史时刻，适应科学技术发展的需要，适应时代的要求，开辟了这个新的领域，取得了举世公认的杰出贡献。钱学森系统科学的思想、理论与方法发展过程中树立了三个里程碑[①]：第一个里程碑是 1954 年《工程控制论》的出版，它标志系统科学的诞生与发展。从 1954 年一直到现在，《工程控制论》的经典之作的地位是不可动摇的。第二个里程碑是 1978 年《组织管理的技术——系统工程》的发表，系统工程与系统科学立即引起全国知识界、特别是工程界的轰动，"它的应用已经渗透到工业、农业、国防、科学技术等各个部门，从一个国家的国民经济规划到一个工厂的管理，从长期的科技战略的制订到短期的科研课题的实施，都无不用上系统工程与系统方法。"[②]第三个里程碑是 1990 年提出的"开放的复杂巨系统及其方法论——综合集成法"，以及后来他提出来的综合集成研讨厅体系。它是钱学森提出的复杂性研究的独特思路和方法论，它在理论上将使我们跳出几个世纪以来近代科学机械论观点与还原论方法的局限，从而会大大促进现代科学技术的发展；在实践上它将为我们面临的复杂性问题，如生态危机、金融危机、改革开放等，提供科学的认识论与方法论。这三个里程碑可以认为是钱学森学术思想发展的三条主线。

参考文献

达尔文回忆录. 北京：商务印书馆，1982.

姜玉平，史贵全. 访问整理：从工程控制论到大成智慧学——戴汝为谈钱学森与系统科学及思维科学. 上海交通大学档案馆，2004-04-12.

路甬祥. 关于建立国家创新体系. 见：路甬祥. 创新与未来. 北京：科学出版社，1998.

马克思恩格斯全集(2 卷). 北京：人民出版社，1965.

钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007.

钱学森，著. 工程控制论. 上海：上海交通大学出版社，2007.

许国志. 系统研究. 杭州：浙江教育出版社，1996.

许良英，范岱年. 爱因斯坦文集(1 卷). 北京：商务印书馆，1976.

---

① 姜玉平，史贵全. 访问整理：从工程控制论到大成智慧学——戴汝为谈钱学森与系统科学及思维科学. 上海交通大学档案馆，2004-04-12.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：致读者.

第十章　钱体系与交叉科学研究方法

真正的自然科学是从15世纪下半叶开始的，从这时起自然科学的研究方法就是把自然界分解为各个部分、把自然界的各种过程和事物分成一定的门类进行研究。自然科学分门别类的研究方法，是最近四百年来在认识自然界方面获得巨大进步的基本条件，从此开始了自然科学不断发展与不断分化的过程。正是在这个基础上，19世纪出现了自然科学中各门学科相互交叉、相互渗透的综合化方向，其主要标志是物理学中能量守恒定律的发现、生物学中细胞的发现与生物进化论的建立。进入20世纪，科学、技术以及科学技术三者的综合化成为现代科学技术发展的显著特点之一，其主要表现是：自然科学、社会科学、思维科学等基础科学，和种类繁多的技术科学之间的相互交叉、相互联系与相互渗透日益加强，形成了一个统一的、完整的现代科学技术体系。

钱学森正是根据现代科学技术发展的大趋势，从"系统"的观点出发，从"系统科学-系统技术-系统工程"统一的认识过程出发，创建现代科学技术体系结构的，并且认为由于研究的问题不同，各个科学部门之间必然会相互交叉。因此，他在1985年4月召开的我国首届交叉科学学术讨论会上，指出了交叉科学的发展前景，认为它将是"一个非常有前途、非常广阔而又重要的科学领域"[①]；并明确指出交叉科学的涵义，认为"所谓交叉科学是指自然科学和社会科学相互交叉地带生长出来的一系列新生学科。"[②]

10.1　从钱体系看交叉科学的产生与发展

10.1.1　交叉科学的兴起

钱学森以科学研究对象所具有的特殊矛盾，也就是"特殊的问题"作为划分科学部门的依据，从横向上把人类认识世界、改造世界的知识分为十一个大门类，他认为[③]：

自然科学是从物质在时空中的运动、物质运动的不同层次、不同层次的相互关系这个角度来研究整个客观世界的；

① 钱学森，等．论人体科学现代科学．上海：上海交通大学出版社，2007：423．

② 钱学森，等．论人体科学现代科学．上海：上海交通大学出版社，2007：422．

③ 北京大学现代科学与哲学研究中心．钱学森与现代科学技术．北京：人民出版社，2001：6．

社会科学是从人类社会发展运动，即从人类社会内部运动以及人类社会发展运动和客观世界的相互影响这个角度来研究整个客观世界的；

数学科学是从质和量的对立统一、质和量的相互转变的角度来研究整个客观世界的；

系统科学是从部分与整体、局部与全局以及层次关系的角度来研究整个客观世界的，如此等等。

钱学森特别强调"系统"的观点，认为局部与全部的辩证统一，事物内部矛盾的发展与演变等，是"系统"概念的精髓，是辩证唯物主义的常理①。这十一个科学部门研究不同的"矛盾"，不同的"问题"。在现代社会发展过程中，人们要解决的、复杂的问题往往是错综复杂地交叉在一起的，例如：建设三峡水电站这样的大型工程，它要解决的问题牵涉到的学科范围就很大，诸如农民搬迁、土地淹没、鱼类回游、船只航行等问题；这些问题把经济问题、生产问题和社会问题等交叉在一起。从现代科学技术体系看来，这些学科的交叉，是现代科学技术体系中十一个科学技术部门由于解决的问题不同而发生的交叉，它围绕所要解决的特殊问题构成一个系统。

10.1.2　交叉科学发展的途径

在科学发展史上，交叉科学的形成与发展大致沿着以下途径：一是自然科学或社会科学的内部具有亲缘关系的相关学科的交叉，如物理化学、生物化学、经济法学、教育经济学等；二是自然科学与社会科学之间的交叉，如环境科学、管理科学、科学学等；三是各门科学的交叉，即十一个门类的科学和技术的相互交叉。无论是沿何种途径发展起来的交叉科学，都在统一的、完整的科学技术体系中形成一个独立的交叉科学研究领域，其中有着共同的语言、共同的概念与共同的方法；其中的一门科学或技术所取得的成果可以迅速地转移到相互交叉的科学和技术中去，促使它发展。

目前交叉科学研究的水平已达到相当的高度，它体现了一个国家的智能化水平、科技水平和综合国力。交叉科学研究是在重大领域中知识、智慧和技能高度集中的研究，是推动国民经济成长和社会发展的、科学的研究方法。从方法论上看，这是由于交叉科学的研究不同于分门别类的研究，前者综合地利用一大类相关的科学技术，以此来解决人类面临的重大的复杂性问题。

10.1.3　交叉科学方法的发展

交叉科学方法的发展规律，不同于各门科学的方法分别独立发展的规律：前者

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：92.

是按照交叉科学的、整体的、共同的方法发展，它涉及各门科学的矛盾错综复杂的交叉，更涉及交叉科学作为一个整体的创新。后者则是按照各门科学的特殊矛盾所产生的特殊规律和特殊方法发展。因此，面对复杂性问题时交叉科学研究的方法论便成为我们时代亟待探索的重大课题。

交叉科学的发展是在近代自然科学分门别类的科学发展的基础上发展起来的，它的发展有其历史过程。从方法上来看，经历了三个时期：

(1)“以分化为主”时期

从15世纪下半叶自然科学兴起时开始，科学主要是分门别类的研究，因而这时期科学的发展“以分化为主”，科学的方法主要是分析方法，并形成还原论的观点，认为如果认识了事物的各个部分，就等于认识了事物的整体。

(2)“又分化又综合”时期

从19世纪初开始，自然科学有了很大的发展，物理学、化学、天文学、地质学、生物学等蓬蓬勃勃地发展起来；特别是能的转化、细胞与生物进化论的发现，认识到各门自然科学之间的相互联系，于是一系列边缘科学(交叉科学的前身)迅速兴起，如物理化学、生物化学等陆续诞生，科学开始注意综合的研究，这时期科学的方法主要是分析方法与综合方法。

(3)“以综合为主”时期

20世纪，特别是经历了两次世界大战之后，一系列综合性的现实问题迫切需要解决，如：社会综合治理问题、全球生态环境问题、尖端科学技术项目(基因工程、人工智能、纳米技术、宇航技术等)的研究问题，都必须应用交叉科学方法。这就促进了交叉科学的大发展。这时期科学研究方法主要是从多个学科进行综合的、整体的研究。

由此可见，交叉科学方法的发展与科学的发展、社会历史的发展，有着不可分割的联系。

10.2 “以分化为主”时期的科学方法

近代自然科学在“以分化为主”的时期，最早、最成熟、最重要的部分是以牛顿力学为基础发展起来的物理学，它的产生、形成与发展应归功于自然科学分门别类研究的分析方法，主要是：

(1) 培根的经验论和归纳法

培根反对中世纪的经院哲学，认为从书本上的教条出发，进行逻辑论证，“并不能帮助我们发现新的科学。”[①]他从唯物主义经验论的立场出发，认为科学的基本

① 北京大学哲学系外国哲学史教研室. 十六～十八世纪西欧各国哲学. 北京：三联书店，1958：9.

概念和公理必须是从感觉与特殊事物中，运用归纳法引申出来。这就是从感觉出发，通过循序渐进和很好地建立起来的实验过程，为认识自然界开辟一条道路①。培根的实验方法和归纳法是通过“三表法”，把一切与所研究的问题有关的特殊事例排列起来，主要是：第一步，确定研究对象的性质，收集“肯定的例证”，列成“本质和存在表”。第二步，收集“否定的例证”，列成“相似情况下的缺乏表”。第三步，选择同一性质在不同的情况下，具有“程度差异的例证”，列成“程度或比较表”。然后对这些表进行比较与分析，根据明显表露事物本质的例证得出结论。“这种归纳法不只是要用来发现公理，并且还要用来形成概念。”②培根的实验方法开辟了近代自然科学发展的道路，不愧被称为“整个现代实验科学的真正始祖”③。

(2) 笛卡尔的唯理论和演绎法

笛卡尔和培根一样反对经院哲学的认识方法，但他强调的是理性而不是经验。他要求创立一种具有确实可靠的基础、有实际效用的新哲学，以便帮助人们获得事物的真理，达到认识自然、支配自然、造福人生的目的。为此，他概括了数学、逻辑学以及一般科学中理性思维的方法，提出了唯理论的方法论。笛卡尔在科学方法上的贡献主要是：第一，他制定了逻辑思维的四条原则④：从根本无法怀疑的东西出发；把难题尽量地分解；从简单到复杂；考察一切可能的情况。第二，他提出“怀疑”的方法论，认为怀疑不是目的而是手段，是为科学认识清除障碍，以利于科学研究的顺利进展。第三，他提出理性主义的真理标准，认为只有那些十分明白清晰地呈现在心智之前、使我无法怀疑的东西才是真的。马克思和恩格斯认为，起源于笛卡尔物理学的法国唯物主义“成为真正的自然科学的财产”⑤。

(3) 伽利略的实验方法与数学方法相结合

伽利略有句名言：自然界是一本打开着的书，它是用数学语言写成的，如果不懂得这种语言我们就不能理解它。伽利略把实验方法与数学方法结合，研究自由落体运动，成功地发现了自由落体运动定律：$S=(1/2)gt^2$，即“落体下落的距离与时间成正比”。这一方法成为物理学的基本方法，从而奠定了物理学的基础。因此伽利略“才成为近代物理学之父——事实上也成为整个近代科学之父。”⑥

(4) 牛顿的物理学方法

1687年牛顿的《自然哲学的数学原理》一书出版，分析概括了前人的研究成果，用万有引力定律把天体运动与地球上物体的运动统一起来，完成了物理学史上

① 北京大学哲学系外国哲学史教研室. 十六～十八世纪西欧各国哲学. 北京：三联书店，1958：31.

② 北京大学哲学系外国哲学史教研室. 十六～十八世纪西欧各国哲学. 北京：三联书店，1958：45.

③ 马克思恩格斯全集(2卷). 北京：人民出版社，1965：163.

④ 北京大学哲学系外国哲学史教研室. 十六～十八世纪西欧各国哲学. 北京：三联书店，1958：110.

⑤ 马克思恩格斯全集(2卷). 北京：人民出版社，1965：166.

⑥ 爱因斯坦文集(1卷). 北京：商务印书馆，1976：313.

第一次理论性的综合，从此物理学成为自然科学的最重要的部分，它标志物理学发展由前科学阶段进入了常规科学阶段。直到20世纪中叶牛顿物理学一直是西方公认的科学范式。

牛顿物理学的哲学指导思想是原子论观点与还原论方法，他在“序言”中写道：科学的任务“就在于从各种运动现象去研究各种自然力，而后用这些力去推演其他现象。”在建立力学体系的过程中，他广泛使用演绎法与归纳法，把这种方法称之为分析法与综合法。在《光学》一书的疑问中，他写道：自然科学应该像数学一样，在研究困难的事物时，总是应当先用分析的方法，然后才用综合的方法。分析方法包括实验和观察；综合方法则是用归纳法从中得出普遍结论。牛顿十分重视数学方法，认为数学是研究力学不可或缺的工具，为了用数学描述运动过程，他创立了微积分。

牛顿的物理学方法使得他在物理学领域的研究中取得了巨大的进展，他对科学发展的影响是前无古人的。爱因斯坦高度地评价牛顿的成就，认为在牛顿以前和以后，“都还没有人能像他那样地决定着西方的思想、研究和实践的方向。”①

10.3 “又分化又综合”时期的科学方法

10.3.1 19世纪关于科学研究的世界观与方法论

19世纪自然科学取得巨大的进步，科学史家称之为“科学的世纪”，马克思和恩格斯在概括总结哲学思想史与科学认识史的基础上认为，人们的世界观与方法论是一致的，有什么样的世界观就有什么样的方法论，反过来方法论也影响世界观，在认识史上如培根的经验论和他的归纳方法论，笛卡尔的唯理论和他的演绎方法论就是最明显的例证。马克思主义创始人总结了哲学发展和科学发展的优秀成果，特别是物理学中能的转换定律和生物学中细胞学说与生物进化论，提出了辩证唯物主义自然观与自然科学方法论，其要点如下：

关于辩证唯物主义自然观：自然界是物质的；物质的构造是无限的，“原子决不能看作简单的东西或已知的最小的实物粒子”②；运动是“物质的固有属性”③；物质运动形式包括：机械运动→物理运动→化学运动→生物运动→思维运动。

关于自然科学研究的方法论：自然科学研究的对象是运动着的物质④，人的认识物质，就是认识物质的运动形式；研究运动形式的方法应当是从低级到高级，从

---

① 爱因斯坦文集(1卷).北京：商务印书馆，1976：222.

② 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：614.

③ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：408.

④ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：591.

简单到复杂[①]，但是不能把高级运动形式归结为低级运动形式，“这样就把其他运动形式的特殊性抹煞了”[②]；各种运动形式是相互联系、相互作用与相互转化的，运动形式的相互转化“构成辩证自然观的核心”[③]；辩证法就是“关于普遍联系的科学”[④]。

10.3.2　从“以分化为主”转向“又分化又综合”时期的科学研究方法

19世纪一些科学家已经发现，自然界的事物与过程本来就是相互联系的整体，所以马克思恩格斯认为，科学分门别类的研究带来的分化必然同时带来科学的综合。正是在从分化开始向综合过渡的过程中兴起了交叉科学。这一时期开始，一般是把原来科学研究中最有效、最简便的方法应用到综合的科学研究中。由于“以分化为主”时期的科学方法主要是分析方法，它把物质结构分为最基本的单元，例如牛顿物理学把物体分解为“微粒”，于是便把这个方法移植到其他科学研究中，移植方法成为交叉科学发展初期的基本方法。通过移植方法使得科学概念、原理、方法得到延伸、拓展和综合，从而加速了科学“又分化又综合”的过程。

但是在综合过程中，综合研究的结果不同于分析研究的结果的简单相加，综合研究的特点（整体≠部分之和），是分析研究所没有的。因此，必须把分析方法与综合方法结合，才能推动交叉科学的发展，这是近代科学发展的趋势。

10.3.3　近代科学史上典型的交叉科学案例

从下列两个突出的例子，可以说明分析方法与新方法的融合如何推动了交叉科学初期的发展。

1. 统计物理学

这是应用统计学的方法研究物理学的一门交叉学科，它是根据对物质微观结构及微观粒子的相互作用，用概率统计的方法，对由大量粒子组成的宏观群体的物理性质及宏观规律作出微观解释的理论物理学分支，又称统计力学。

当物理学研究对象从少量粒子变为由大量粒子组成的宏观群体时，研究方法也要随之变化，因为后者（大量粒子组成的系统）所遵循的规律显然不能归结为前者（力学）的规律，必须在科学方法上进行修正，所以统计物理学的发展同时也就是科学研究方法的发展：

---

① 马克思恩格斯全集（20卷）．北京：人民出版社，1971：408.

② 马克思恩格斯全集（20卷）．北京：人民出版社，1971：591.

③ 马克思恩格斯全集（20卷）．北京：人民出版社，1971：16.

④ 马克思恩格斯全集（20卷）．北京：人民出版社，1971：357.

首先是“分析方法”的移植与发展。19 世纪中叶开始建立起来的气体分子运动论，以气体中大量分子作无规运动的观点为基础，根据力学定律和大量分子运动所表现出来的统计规律来阐明气体的性质。气体分子运动论发展了“分析方法”，丰富了物质的微观结构学说——物质的分子-原子结构理论的内容：一切物体都是由大量分子构成的，分子之间有空隙；分子处于不停息的、无规则运动状态，这种运动称为热运动；分子间存在着相互作用着的引力和斥力。物质的三态主要是以分子力和分子运动状态来区分的。

其次是统计方法的引入。统计学是应用数学的一个分支，主要通过利用概率论建立数学模型，收集所观察系统的数据，进行量化的分析、总结，并进而对大量分子运动的现象作出推断和预测。统计方法是一种从微观结构上来研究物质的宏观性质及其规律的独特的方法。在物质分子运动中，麦克斯韦、克劳修斯、波尔兹曼等应用统计方法，探索有关物质大量分子集体的性质，得出表征大量分子集体特性的量，称为宏观量，它和表征每一个分子的微观量（大小、质量、速度、能量等）是不同的。

所以，统计物理学的研究方法是以物质的原子-分子结构概念为基础，运用统计方法，揭示物质宏观现象的本质，确立宏观量与微观量之间的关系。统计物理学的产生是经典物理学的重大进展。

2. 分子生物学

分子生物学是 20 世纪初期发展起来的遗传学和生物化学结合的产物。生物化学的发展经历了三个阶段：

第一阶段从 19 世纪末到 20 世纪 30 年代，主要是研究生命物质的成分，对生物体各种组成成分进行分离、纯化、结构测定、合成及理化性质的研究。

第二阶段约在 20 世纪 30～50 年代，主要特点是研究生物体内物质的代谢变化，以及酶、维生素的作用。

第三阶段是从 20 世纪 50 年代开始，主要特点是研究生物大分子的结构与功能。在这一阶段上，生物化学的发展，与当时物理学、技术科学、微生物学、遗传学、细胞学等其他学科的交叉与融合，产生了分子生物学。分子生物学通过研究生物大分子（核酸、蛋白质）的结构、功能和生物合成等方面，来阐明各种生命现象的本质以及各种生命过程。

分子生物学这门交叉科学的发展，伴随着研究方法的发展。

首先是“分析方法”的移植与发展。物理科学的发展对物质结构的研究提供了“基本粒子-原子-分子”的分析方法。生命科学的物质结构分析，不能脱离这个层次的分析方法。但是，构成生命基础的生物大分子不仅具有物理化学性质，还具有生命现象所特有的性质，不能把生命科学的规律仅仅归结为物理规律、化学规律的

简单相加。

其次是引入其他方法。如生物物理学、生物化学、生物数学等学科的科学方法，它们与分子生物学的科学方法的主要区别在于：

① 生物物理学和生物化学是用物理学的和化学的方法，研究在分子水平、细胞水平、整体水平乃至群体水平等不同层次上的生物学问题。而分子生物学则着重在分子(包括多分子体系)水平上研究生命活动的普遍规律。

② 生物化学研究的范围是一些小分子物质在生物体内的转化；而分子生物学则着重研究大分子，主要是蛋白质，核酸，脂质体系以及部分多糖及其复合体系。

③ 生物物理学或生物化学研究某一特定生物体或某一种生物体内的某一特定器官的物理、化学现象或变化；而分子生物学研究的主要目的，是在分子水平上阐明整个生物界所共同具有的基本特征，即生命现象的本质。

分子生物学把细胞水平的经典生物学提高到了分子水平，把定性描述的经验科学提高到了定量表述的理论科学水平，阐明了许多生物大分子的结构与功能，从而说明：生命活动的根本规律在形形色色的生物体中都是统一的。这充分表明交叉科学研究在科学发展中的重要性。

10.4　钱体系中的交叉科学研究方法

现代交叉科学是“以综合为主”时期的交叉科学，它已发展为一个庞大的科学技术部门，其中的科学技术不是彼此孤立的，而是相互联系、相互渗透与相互作用的整体，因而交叉科学的方法必须应用系统的观点与系统的方法。钱学森在创建现代科学技术体系结构基础上，进一步创建的系统科学的理论，为交叉科学研究提供了重要的思想方法。钱学森的“系统科学-系统技术-系统工程”是交叉科学时代科学方法的重大创新。从钱学森的现代科学技术体系结构看来，“系统科学作为一个科学技术部门，不管在哪一个层次上，哪一门学科，都是以系统作为研究和应用对象的。”[①]系统科学把科学研究的对象看作一个系统的整体，从系统的结构与功能，从系统的演化，研究交叉科学中各门学科相互制约、相互作用的规律。从这个角度看来可以认为，系统科学涵盖了交叉科学，它是最一般的交叉科学，它为交叉科学提供了最一般的方法。系统科学作为现代交叉科学，它的方法按照系统科学的体系结构——“系统科学-系统技术-系统工程”，可以分为下列三个层次。

10.4.1　工程技术层次的交叉科学方法

工程技术是直接用来改造客观世界的应用技术，它必然要应用交叉科学方法，

---

① 钱学森，等.论系统工程.上海：上海交通大学出版社，2007：338.

因为：

第一，现代工程面对的是复杂性问题，必然涉及多个科学技术领域；而不同的工程应用的科学技术是不同的，例如水利工程，要应用水力学、结构力学、材料力学、电工学等，还要应用经济学、环境科学、工农业生产技术等方面的知识。所以，现代工程应用的是交叉科学技术，它横跨了自然科学、社会科学、数学、技术科学和工程技术，是现代的交叉科学技术。

第二，现代社会是一个高度组织起来的社会，从事工程建设活动必然是一个有组织的社会活动，它形成一个系统，这个系统的组织建立、科学管理与有效运转就是一项系统工程。它应用有关的科学技术对工程提供一个系统的方法，即系统工程方法，它从定性到定量，提供一套数学理论，定量地处理工程内部的关系，特别是要用电子计算机，没有电子计算机的巨大计算能力，系统工程的应用几乎是不可能的[①]。

关于工程技术层次的系统工程的方法，可以举农业系统工程为例加以说明。

(1) 农业

它不同于其他产业的本质特征在于：它是自然再生产和经济再生产的结合；它是人类利用生物有机体的生命机能取得产品的生产活动；它是人类运用劳动手段干预自然环境和农业生产的活动。从根本上说，农业“就是利用太阳光的能量，通过生物转化，生产人们所需要的东西，即人们所需要的食物、工业原料和生物能源（如有机质发酵搞沼气、薪炭林）；又通过生物本身的存在（如森林、草地），改造自然，创造一个人类和生物本身所需要的理想环境。”[②]

(2) 农业系统

现代农业是一个开放的复杂巨系统，它除了包括传统的农、林、牧、副、渔外，还应该加上虫业、微生物业。这就是说，现代的农业系统应包括以下组成部分[③]：

农业：狭义的农业，即农作物栽培业，它分为粮食作物、经济作物和饲料作物三大类，其中包括粮、棉、油、麻、糖、菜、果、烟、茶、药、饲、杂等；

林业：分为用材林、经济林、薪炭林、防护林、水土保持林等；

牧业：包括牛、羊、猪、兔、马、驴等；

禽业：包括鸡、鸭、鹅、火鸡等；

渔业：除通常所说的渔业外，还应包括许多水产养殖，如虾、蛙、珍珠、牡蛎、海带、紫菜、莲藕、菱角、芦苇以及水生饲料等；

虫业：包括养蜂、养蚕、养蚯蚓（可以松土、肥田及喂猪、喂鸡、喂鱼）、养蝇蛆（喂

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：93.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：63.

③ 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：64.

鱼)、养赤眼蜂(以虫治虫);

微生物业:利用微生物发酵,搞沼气、生产饲料、生产蛋白质以至直接生产食物,搞生物农药、菌肥以及利用微生物改良土壤等;

副业:主要是指用上述各业产品为原料的加工项目,如编织、淀粉、豆制品、手工艺品等。

显然,以农业系统为对象的农业科学技术是一门交叉科学技术。

(3) 农业系统工程的目的

在农业中建立科学的生产组织,建立合理的生产结构和产业结构,以提高农业生产的社会化水平;应用现代科学技术的手段与方法,对农业生产全过程的经济活动,进行组织、指挥、监督和协调,提高工作效率和经济效益。为达到此目的,就要全面地处理好农业系统中各个组成部分之间,以及农业系统的整体和组成部分之间的协调配合关系,改变部门之间各行其是、互不协调甚至互相扯皮的现象。与此同时,必须把农业系统中生产经营的过程,即生产、加工、储存、运输、销售的过程,组成一条龙,走"农业一体化"之路,形成一个包括产供销、农工贸、经科教在内的一体化体系。

(4) 农业系统工程的方法

首先要掌握农业本身的规律,农事学就是"研究农业生产中矛盾运动变化规律、研究农业生产指导策略的一门新生学科。"[①]它研究的问题是[②]:第一,分析农业生产中的矛盾,根据矛盾的轻重缓急决定技术手段、措施的投入量。第二,分析农业生产过程,寻求改造自然、发展农业生产的最佳途径。第三,研究农业系统的综合平衡。首先是农业系统整体的综合平衡,要对农、林、牧、渔、虫、微、副、工等各业在整体中的作用和相互关系,通过分析,作出定量反映。其次是农业系统中各分系统和生产技术的综合平衡,例如生物生产条件的综合平衡;农业系统建设的总目标与各分系统的具体目标的综合平衡。最后是要正确处理许多与生产技术措施相关的因素,如田间管理,要根据土壤、农作物生长发育、气候变化等因素来决定措施。

(5) 系统工程的方法

系统工程是当代人类在认识和改造客观世界中的一个飞跃,是交叉科学研究普遍适用的方法。随着科学技术的发展,现代工程的复杂程度大大提高了,系统工程是根据控制论原理,运用电子计算机技术,把系统复杂的工程的组织管理工作建立在定量的基础上,使得各个分系统的工作协调一致,同步运转,大大提高效率[③]。系统工程是一类包括许多工程技术的一大工程技术门类,如农业系统工程、军事系

---

① 钱学森,等.论系统工程.上海:上海交通大学出版社,2007:67.

② 钱学森,等.论系统工程.上海:上海交通大学出版社,2007:68~70.

③ 钱学森,等.论系统工程.上海:上海交通大学出版社,2007:198.

统工程、经济系统工程、信息系统工程、企业系统工程，等等，它是“指设计新系统的方法”①，是工程技术层次的交叉科学方法。

10.4.2 技术科学层次的交叉科学方法

技术科学是为工程技术直接提供理论基础的，由于现代工程面对的大都是复杂性问题，必须应用多个学科的工程技术，因而现代工程技术的技术科学也必然是多个学科的工程技术共同的理论基础。从系统的观点看来，它是技术科学层次的交叉科学方法。它包括以下几种：

(1) 系统方法

辩证唯物主义的观点认为，在整个宇宙中，无论是在自然界，人类社会，或者是在思维领域中，系统是普遍存在的。所谓系统是指“由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体，而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”②

系统方法的基本原则是从系统的观点出发，研究：系统的整体和部分的关系；系统的结构和功能的关系；系统和环境的关系；系统的现状和目标的关系。

系统方法的基本要求是应用系统理论解决实际问题，为此提出以下几个方法。

(2) 系统分析法

它包括：

① 目标分析，对系统整体的总目标和分系统的分目标，以及实现目标的约束条件，进行分析。

② 结构分析，对整体与部分、部分与部分的关系进行分析，从中找出关键的部分或环节，以调整系统的结构，求得解决问题的步骤与途径，使之达到整体优化。

③ 功能分析，分析各个组成部分在系统整体功能中的定位和作用，从中找出起关键作用的部分。

④ 环境分析，根据系统与环境的相互关联，分析系统和环境相互作用的情况，在系统的环境的作用中，要分析系统不同层次对环境的有利或不利的影响；还要分析环境对系统的反作用。

⑤ 动态分析，任何系统都有其产生、发展与瓦解的过程，要在系统所处的环境条件下，分析系统的过去与现在，以了解系统变化与发展的趋向，掌握系统的发展规律，制定系统优化的措施。

(3) 系统协调法

根据系统的整体性与层次性，功能表现的阶段性和有序性，进行最优设计和最

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：40.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：2，3.

优决策，以达到有效的协调，避免犯因小失大、因近损远的错误。系统协调法分两步：第一步，进行系统分解，包括结构、功能、内外关联、目标和过程等的分解，为解决问题提供依据；第二步，进行系统协调。在系统分解的基础上，通过比较，区分主要矛盾和次要矛盾，找出关键问题，有针对地调整系统的结构和系统与外部环境的关系，以充分发挥系统的整体功能，实现系统的整体优化。科学管理中应用的计划协调技术（PERT）就是系统协调法的生动的体现。

（4）系统建模法

系统的模型由数学表达式构成，它反映研究对象（原型）的本质属性。模型方法用数学模型去探索和描述研究对象（原型）的变化发展规律，是现代科学方法的核心。建立系统模型必须满足三个基本要求：

① 模型与原型要有相似关系，即模型的结构与功能必须是原型的结构与模型的模仿。

② 模型必须是原型的本质属性的抽象，即模型撇开原型的次要属性或次要过程，抓住它的本质属性或基本过程，是原型的简化。

③ 模型必须反映原型的真实关系，即模型要反映原型的内部和外部的基本关系。

系统建模的方法与步骤主要是：

① 明确建模对象。要对研究对象或需要解决的问题的基本性质、主要过程和重要程度，有一定的认识。

② 明确建模目标。目标是通过方案的优化选择得出的，实现目标需要具备相应的约束条件，明确目标才有可能为决策者提供掌握系统动态行为的基本趋向和实现宏观调控的关键指标。

③ 确定模型边界。在明确目标的基础上，必须进一步确定目标及其约束条件所涉及的范围，确定模型的边界。

④ 绘系统模型的关系图。对系统要素作相关分析，明确主要的、关键的、直接的因素和关系，画出具有一定结构和功能的模型框架。

⑤ 设置变量。设置系统模型的变量必须先对它的关系网按一定的量纲逐一加以量化，才有可能使它的各种量值关系表征原型的各个因素之间的真实关系。但是要注意，模型中变量、参数、常数和实际系数中的因素和关系并不都是一一对应的，因而变量、参数、常数的设置合理与否直接关系到所建模型的质量。

⑥ 编写系统模型的动态方程。首先根据系统模型的关系图绘制出系统运行的状态和倾向，即系统流图，然后按照系统流图所表示的各因素之间的关系，逐一列出数学方程，建立系统动态的数学模型。

（5）信息方法

从辩证唯物主义的观点看来，在整个宇宙中，无论是在自然界，人类社会，或者是在思维领域中，信息是普遍存在的。物质是信息的载体，物质的运动是信息的泉

源。信息的传递需要能量，能量的驾驭需要信息。“从本体论的意义上说，信息是事物运动的状态和(状态改变的)方式；从认识论的意义上说，信息是认识主体所感知或所表述的事物运动的状态和方式。”①

信息方法是从信息的观点出发，研究系统通过信息的获取、传递、加工、处理而实现其有目的性的运动的方法。信息方法的特点是：撇开物质与能量，完全从信息的角度，把系统的有目的性的运动看作是信息变换过程，并以此为基础分析和处理问题。信息方法的过程如图 10-1 所示。

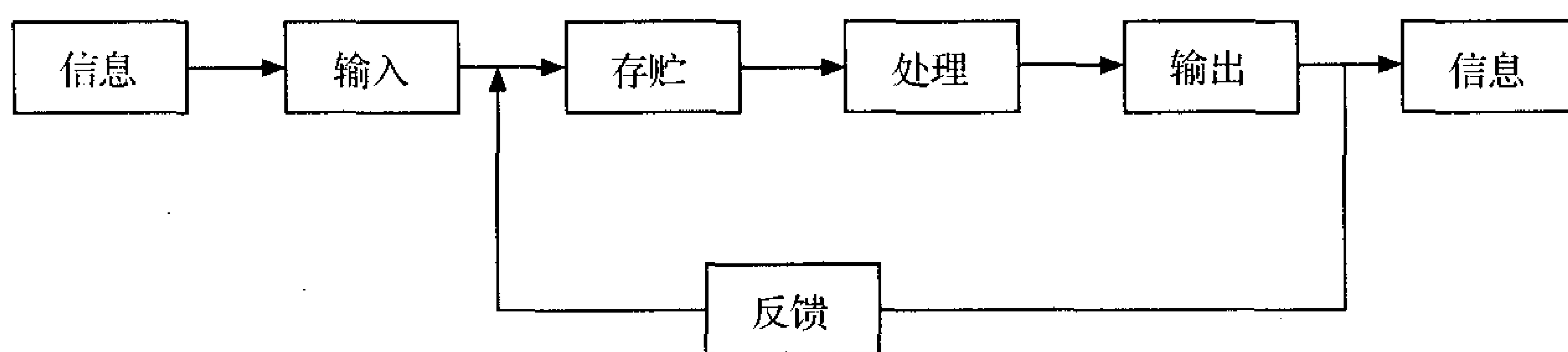


图 10-1

信息方法的内容包括如下：

① 信息获取。根据研究的目的和设想，通过各种途径，运用现代科学技术手段，取得研究对象的第一手信息。

② 信息传递。将信息编码，输入信道，然后经过译码传输给研究中心。

③ 信息分析。通过科学方法进行分析，如运用观察、实验、类比、综合、概括等方法，分析信息，判明信息的性质，计算各种信息量。

④ 建立信息模型。根据系统的关系，设计信息模型，模拟原型的信息流通，达到对研究对象的进一步的认识。

⑤ 信息输出和使用。

信息方法不同于经典科学方法的地方在于：

① 对象与方法。经典科学的研究对象是物质与能量，研究方法主要是分析方法；信息科学的研究对象是信息，研究方法主要是信息的获取、传递以及处理。

② 整体与局部。经典科学研究的途径是把整体分解为部分，着重研究部分的结构、功能、运动与变化的规律；信息科学的研究途径是直接从整体出发，通过信息的接收、传递、转换、使用的全过程，综合研究事物整体的规律性。

③ 定性与定量。经典科学的定量方法一般说来是确定的，而信息科学的定量方法，由于它处理的是模糊信息，一般说来是概率方法。

(6) 控制方法

控制论的创建，突破了经典科学方法的束缚，形成了以实现目的对系统的行为进行控制的方法，这是人类实践活动中普遍适用的方法，它包括：

① 钟义信. 信息科学原理. 北京：北京邮电大学出版社，1996：4.

① 功能模拟方法。这是以系统的功能和行为相似为基础，通过类比构建系统模型去模仿原型的功能与行为的方法。模型与原型之间的功能相似可分为两种不同的情况：一是功能同构。这是指模型与原型之间，在输入、输出及其相互关系方面，有某种一一对应的关系。二是功能同态。这是指用简化的功能模型来模拟原型的功能，使得描述原型功能的一组元素用描述模型功能的一个元素所反映。如用电子计算机模拟人脑的一部分功能，就是人脑功能的同态模型。

② 黑箱方法。人们把内部结构和机理全然不知的对象称为"黑箱"，部分知道的称为"灰箱"，完全知道的称为"白箱"。黑箱方法就是在不打开黑箱，不干扰它正常运行的情况下，根据它的输入与输出的关系的变化规律，建立模型，以探求原型内部的结构与功能的方法。黑箱方法的基本步骤是：第一，根据相对孤立的原则，把研究对象从环境中分离出来，判定它与环境之间的边界及其相互作用。第二，通过观测与实验，考察研究对象的输入与输出，二者的关系的动态过程。第三，根据已知的关于研究对象的知识，根据观测与实验取得的数据，建立黑箱模型。经过上述步骤后，对黑箱模型的功能特性进行定性与定量的、静态与动态的分析与评价，并对它未来的行为作出预测。

③ 反馈方法。所谓反馈就是变换系统输出信息的一部分，把它反作用于输入信息，以调节系统的活动。反馈方法就是运用反馈概念对系统的行为进行分析调整制的方法。信息反馈过程如图 10-2 所示。

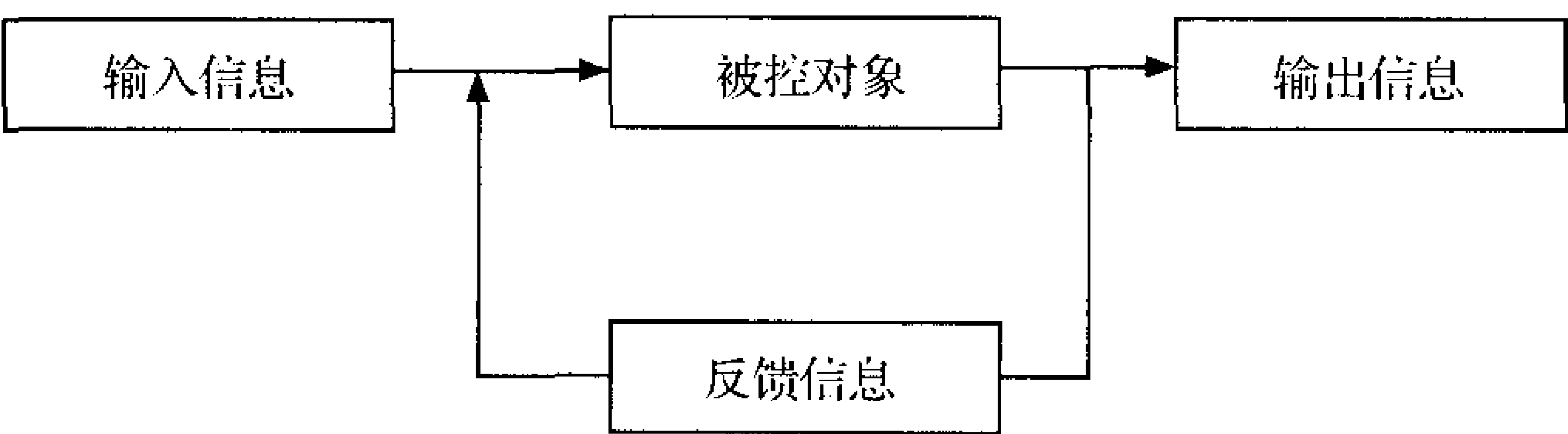


图 10-2

反馈分为两类：一是正反馈，指系统的反馈信息与输入信息相作用的结果，加大了系统偏离目标的运动，系统将不稳定甚至瓦解。二是负反馈，指系统的反馈信息与输入信息相作用的结果，减少了系统偏离目标的运动，系统将趋向稳定。所以，反馈是调节和控制系统的基本方法，也是普遍适用的系统科学方法之一。在组织管理活动中，任何一个决策都或多或少地牵涉到某一分系统的信息反馈，如果信息反馈失灵就会导致管理混乱。

④ 运筹方法。运筹学是 20 世纪 40 年代开始形成的一门综合性数学学科，是现代应用数学的一个分支，主要是根据组织管理中出现的一些带有普遍性的运筹问题（统筹兼顾、全面规划、局部服从全局等）的要求，通过数学分析，用数量关系的形式表达出来，提出综合性的合理安排，最后用电子计算机去算，以发挥系统最大

的效能。所以运筹学也可以叫做“事理学”[①]。运筹方法是系统工程和现代管理科学中不可缺少的方法、手段和工具。

运筹方法的基本思想主要是：从现实的系统中抽出本质的要素；构造数学模型；探索求解的结构并导出系统的求解过程；从可行方案中寻求系统的最优解法。其实质就是把运筹思想、建模技术与数学方法三者有机地结合起来。应用运筹方法时，一般需要经过以下几个步骤：确定目标、制订方案、建立模型、制定解法。

运筹学的具体内容十分广泛，主要有：规划论（包括线性规划、非线性规划、整数规划和动态规划）、博弈论、排队论、搜索论、库存论、决策论、可靠性理论等。

10.4.3 基础科学层次的交叉科学方法

现代交叉科学是从20世纪40年代兴起的，第二次世界大战期间，由于战争的需要建设起来的工程，如英国新式雷达系统的研制计划，美国制造原子弹的“曼哈顿工程”，都是由多种学科、多种行业的科技人员共同协作完成的。80年代交叉科学进入蓬勃发展的新时期。各国政府纷纷制订发展交叉科学研究的政策，并成立了一大批交叉科学研究中心，如国际知名的思想库兰德公司。于是，交叉科学发展成为一门独立的、自成体系的、有组织的科学技术门类。从研究问题的复杂性看来，交叉科学实际上是一门系统科学，其理论基础是系统学，它是以系统的观点与方法处理复杂性的问题的。

钱学森拥有深厚的理论功底、丰富的实践经验，在为实现社会主义现代化建设的宏伟目标的过程中，前后花了20多年的时间，经过他和学界同仁的集体攻关，创建了系统科学的体系结构，即“系统科学-系统技术-系统工程”；并在此基础上创造性地提出了开放的复杂巨系统的理论与方法，它既是系统科学的观点与方法，也是基础科学层次的交叉科学方法。

交叉科学研究的对象，如生物体系统、人脑系统、人体系统、生态系统、社会系统等，都是开放的复杂巨系统。它的特点是：子系统的数量巨大，成千上万；子系统的种类很多，不仅有层次结构，而且它们之间的关联关系很复杂[②]；系统与外部环境有物质、能量与信息的交流。

交叉科学研究的方法，就是处理开放的复杂巨系统的方法，钱学森把它总结为定性与定量相结合的综合集成法，这个方法是中国航天事业的发起人、奠基人和科学主帅钱学森，长期的理论研究与实践经验的概括与总结，它大体上经历了如下三个阶段[③]：

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：7.

② 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：110.

③ 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：“钱学森系统科学思想文库”序.

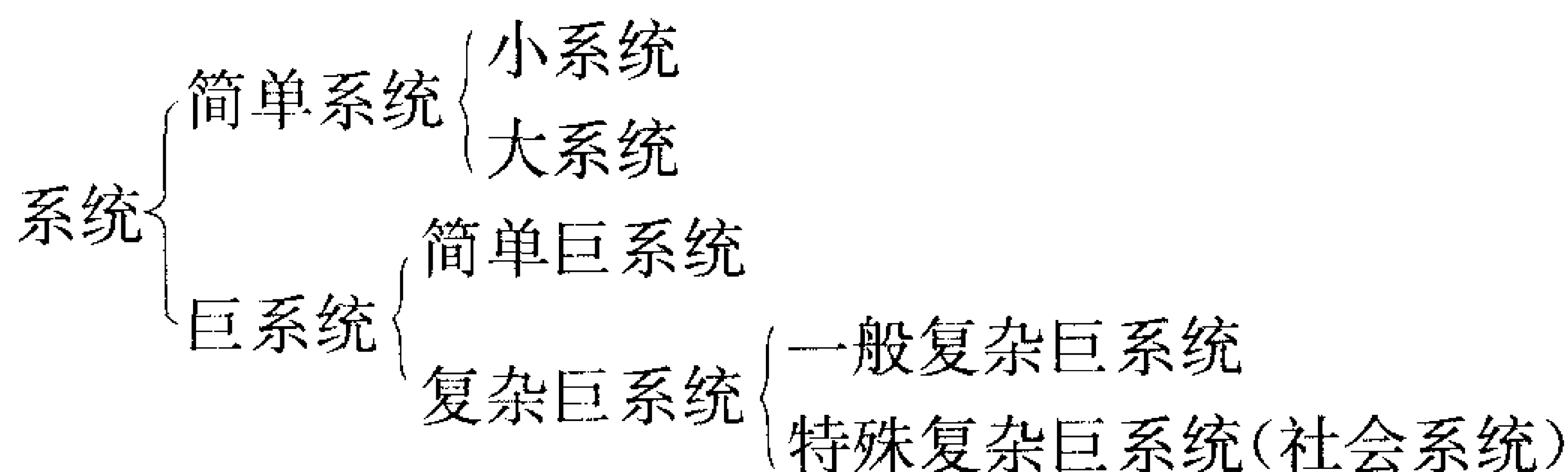
第一阶段。从 20 世纪 30 年代到 50 年代中，钱学森在美国主要从事自然科学技术研究，特别是在应用力学、喷气推进以及火箭与导弹研究方面，取得了举世瞩目的成就。同时，他还创建了物理力学和工程控制论，成为国际上著名的科学家。特别值得指出的是他创建的工程控制论，完全不考虑能量、热量和效率等因素，而是考虑“系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质，以及整个系统的总的运动状态。”[①]这样，通过“系统”的概念，就确立了一个较为重要的理论前提，即：把工程控制推广到一切有组织的活动的控制。可以认为，钱学森从此已开始进行交叉科学的研究。工程控制论所体现的科学思想、科学理论、科学方法，以及它在应用中取得的成就，在国际学术界引起了强烈反响，立即被译成多种文字出版发行。

第二阶段。从 20 世纪 50 年代中至 80 年代初，钱学森肩负着开创我国火箭、导弹和航天事业这一艰巨而光荣的任务，他集中精力投身到这项伟大的事业上。航天科学技术是典型的现代交叉科学技术，具有高度的综合性，不仅需要应用多种自然科学技术，还需要应用社会(组织原则，管理体制)、管理(信息，控制)、数学(运筹)等多种科学技术，把它们综合集成到这项工程实际中。在以“两弹一星”为代表的大规模科学技术工程的研制过程中，首先要解决一个问题：如何把成千上万参加工程的人员组织起来，以较少的投入，在较短的时间内，研制出高质量可靠的型号产品来？这就需要有一套组织管理的科学方法。钱学森正是在开创我国航天事业的实践过程中，创建了系统工程——组织管理的科学方法。它包括两个相互联系的方面：一是在研制体制上，研究、规划、设计、试制、生产和试验一体化；二是在组织管理上，总体设计部和两条指挥线的管理方式。

第三阶段。从 20 世纪 80 年代初到逝世。钱学森从科研一线领导岗位上退下来以后，把全部精力投入到学术研究之中，他的创造力从工程技术领域转向学术思想理论领域。由于他的知识渊博，思想敏锐，视野广阔，从战略科学家的角度提出了十分重要的、深刻地影响“科学-技术-工程”未来发展的科学思想、科学方法与科学领域，特别是他创建的现代科学技术体系和系统科学体系，它是科学发展转向时期，从科学分化转向科学综合时期，现代科学技术的认识论、方法论与价值论。他提出的开放的复杂巨系统的理论与方法，是转向时期的科学方法，同时也是交叉科学方法。

第一，系统科学的研究对象是系统，系统是普遍存在的。系统按照规模的大小与结构的复杂程度可以分类如下：

① 钱学森，等. 工程控制论. 上海：上海交通大学出版社，2007：2.



第二,经典科学的研究对象是简单巨系统,它用的是还原论方法,即分解、观察与实验、定量,逻辑推理与数学计算,实验检验。这个方法对简单巨系统的研究是适用的、必要的,它获得了光辉的成就,推动了自然科学的巨大进步。但对于开放的复杂巨系统的研究,这个方法是不够用的。必须坚持辩证唯物主义,坚持系统的观点,从整体上考虑并解决问题,要用从定性到定量的综合集成的方法[①]。它的实质"是将专家群体(各种有关的专家)、数据和各种信息与计算机技术有机结合起来,把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来,"[②]在当代,科学、技术、经济与社会迅速发展,它们之间的相互影响和相互作用日益增强,我们面临的是十分复杂的问题,必须用多学科综合研究的方法去解决,也就是说必须用综合集成方法去解决。

第三,定性定量相结合的综合集成法具有以下特点:

① 概括系统的复杂机制和变量众多的特点,把定性研究和定量研究有机地结合起来,从多方面的定性认识上升到定量认识。

② 由于系统的复杂性,要把科学理论和经验知识结合起来,把人对客观事物的零星知识抓起来解决问题。

③ 根据系统思想,把与问题有关的多种学科结合起来进行研究。

④ 根据系统的层次结构,把宏观研究与微观研究统一起来。

参考文献

爱因斯坦文集(1卷).北京:商务印书馆,1976.

北京大学现代科学与哲学研究中心.钱学森与现代科学技术.北京:人民出版社,2001.

北京大学哲学系外国哲学史教研室.十六~十八世纪西欧各国哲学.北京:三联书店,1958.

马克思恩格斯全集(20卷).北京:人民出版社,1971.

马克思恩格斯全集(2卷).北京:人民出版社,1965.

钱学森,等.工程控制论.上海:上海交通大学出版社,2007.

钱学森,等.论人体科学现代科学.上海:上海交通大学出版社,2007.

钱学森,等.论系统工程.上海:上海交通大学出版社,2007.

钱学森.创建系统学.上海:上海交通大学出版社,2007.

钟义信.信息科学原理.北京:北京邮电大学出版社,1996.

---

① 钱学森.创建系统学.上海:上海交通大学出版社,2007:130~133.

② 钱学森,等.工程控制论.上海:上海交通大学出版社,2007:112.

第十一章　钱体系与地理环境建设的创新性研究

人与自然的关系是辩证唯物主义自然观的核心，在这个问题上，马克思主义哲学创始人认为，自然界始终处在优先地位，因为自然界是人类赖以生存和发展的基础[①]。钱学森坚持和发展马克思主义哲学观点，在钱体系中列入地理科学这一大门类，其理由是：社会主义社会与其他社会一样，以地理环境（主要是与人类生产、生活密切相关的地球表层[②]）为其发展的基础。社会的发展同地理环境的发展密不可分：一方面社会发展要受地理环境的制约；另一方面社会发展同时也对地理环境产生影响。故此钱学森提出：在社会主义现代化建设进程中，必须进行地理环境建设，以协调人与自然之间的关系；钱学森从发展的全局考虑，认为必须把地理环境建设同物质文明、精神文明和政治文明的建设摆在同等重要的地位。这是极有远见的，是生态文明思想的科学的表述，对我国改革与发展有着非常重要的理论意义与实践意义。

11.1　地理环境建设的新问题

11.1.1　地理环境建设是贯彻落实科学发展观的前提

2003 年 10 月党的十六届三中全会总结了国际国内的经验教训，提出了“科学发展观”。2007 年 10 月胡总书记的党的十七大报告，对科学发展观作出了深刻的论述，他概括的要点是：“科学发展观，第一要义是发展，核心是以人为本，基本要求是全面协调可持续，根本方法是统筹兼顾。”从辩证唯物主义的自然观看来，在统筹城乡发展、区域发展、经济社会发展、国内发展和国外发展、人与自然和谐发展这五个统筹中，统筹人与自然和谐发展是贯彻落实科学发展观的前提条件，因此党的十七大报告提出：“建设生态文明，基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式。”生态文明建设，是贯彻落实科学发展观的战略措施。

钱学森认为：地理科学研究的对象是地球表层，“地球表层”这一概念，“指的是和人最直接有关系的那部分地球环境。”[③]具体地说，地球表层包括上至大气对流

---

① 马克思恩格斯全集(3 卷). 北京:人民出版社,1965:49～51.

② 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京:中共中央党校出版社,1987:244.

③ 钱学森. 创建系统学. 上海:上海交通大学出版社,2007:13.

层(在极地上空约 8 公里,赤道上空约 17 公里)下至岩石圈的上部(陆地上约深 5～6公里,海洋下平均深 4 公里)。人与自然的关系,实际上是人与他活动的地球表层的关系。地球表层是人类生产与生活能够作用到的地球陆地与海洋表面以上和表面以下的空间,它对人的影响,对社会的发展都有密切的关系。地球表层在地球演化的历史过程中经历了如表 11-1 所示的阶段①。

表 11-1

大约 150 亿年前	大约 60 亿年前	大约 38 亿年前	200 万～300 万年前	30 万年前	1 万年前	200 年前	60 年前	21 世纪
宇宙的形成	地球的形成	单细胞的产生	人类的起源					
天文期	地文期	生文期	人文期	自然人	社会人			
		生地关系	人地关系	人类生态系统	社地生态系统		天地人机关系	
				渔猎文明	农业文明	工业文明	信息文明	生态文明

30 万年前的人类主要是自然人,他和其余的动物一样所能做到的最多是搜集,依赖采集(渔猎)向自然界取得生活资料。在人类依赖自然、服从自然的渔猎时期,还没有出现人与自然的矛盾。

1 万年前农业革命,人类开始进行农业生产,当时由于人口稀少,生产力水平低下,虽然刀耕火种破坏了森林,农业的单一品种破坏了生物的多样性,但是,农业生产对自然界的影响还没有超过自然界的承载力,因而人与自然的矛盾只是处在萌芽状态。

200 年前的工业革命是生产方式发展史上的一场革命,马克思、恩格斯对资本主义制度下的工业生产方式进行了深刻的分析与批判:一方面充分肯定了工业生产方式伟大的历史作用,指出了工业生产力"比过去一切世代创造的全部生产力还要多,还要大"。因而工业生产力打破了与它不相适应的封建的所有制关系,把封建社会推向资本主义社会。另一方面他们又深刻地指出,建立在资本主义制度基础上的工业生产方式,追逐利润是唯一的动力,对自然界贪婪地索取和掠夺,必然造成对自然界的破坏,如水土流失、土壤肥力下降、森林毁灭,等等。工业革命带来的后果是地理环境遭受严重的破坏。

① 马霭乃. 地理科学导论. 北京:高等教育出版社,2005.

11.1.2　地理环境建设是一项复杂的系统工程

1. *建设地理环境，破解环境与发展的矛盾*

在人类社会物质生产发展史上，工业生产的对象是物质与能量，随着工业生产的发展，以及工业化在全球的扩张，工业对资源不断增长的需求，对环境造成日益严重的污染，导致了环境与发展尖锐的矛盾，因而破解环境与发展的矛盾的根本出路在于变革现存的、占统治地位的工业生产方式。中国共产党提出的"科学发展观"与"建设生态文明"，为破解这一难题指明了方向、道路与方法。

对此，钱学森进一步从现代科学技术体系的角度，作出科学的论述，他认为：环境实际上是指同人类生存与发展息息相关的地球表层。地球表层是一个开放的复杂巨系统，因此地理环境建设的组织管理，即地理环境系统工程必须应用系统工程的理论与方法，按照地球表层巨系统的层次分级解决[①]：第一级是工农业生产和人民生活这一基层；第二级是区域性的；第三级是全国性的；第四级是全世界性的。每一级的环境系统工程的工作任务不尽相同，因而管理方针也要有区别。

第四级全世界性的环境问题，如防止温室效应、酸雨、沙尘暴等。第三级全国性的，属于国家行政管理的主要有：制定法律、法规，要求各基层单元严格遵守，不得污染环境；对环境的质量进行监测；宣传普及环保知识。属于全国性、跨地区的环境系统工程有：营造北部林带以防止沙漠化，南水北调工程以预防干旱，大力发展新能源等。这方面的工作为第一级、第二级的环境系统工程创造条件。第二级区域性的，第一位的环境保护工作是植树造林，进行绿化，包括培养花草。还有恢复露天开矿所破坏的地表，改造矿渣堆置的地面；此外更积极的是控制气象。第一级生产与生活的基层单位要从两个方面着手：一是进行环境保护的宣传与教育，如有关环境问题的影片、展览、报告等；二是清洁生产、废物利用等知识的学习、应用与推广。

贯彻落实上述各级环境系统工程，必须在统筹人与自然的发展的思想指导下，从国际国内的形势出发，从运用交叉科学处理复杂性问题的角度，利用物质科学、能量科学、信息科学与生物科学的新成就，建设生态文明的物质技术基础——生态农业，发展以它为核心的国民经济体系，并对其他产业（工业、信息业、服务业等）的运营思想与工作方式进行改造，这样才能从根本上解决环境与发展的矛盾，解决"人类-自然-社会-经济"这一复杂巨系统的可持续发展问题。

作为生态文明的物质技术基础的生态农业，是"以人与自然协调发展为中心"，

---

① 钱学森．社会主义现代化建设的科学和系统工程．吴义生编．北京：中共中央党校出版社，1987：246．

以“自然-社会-经济”复杂巨系统的动态平衡为目标，以生态系统中物质循环、能量转化与生物生长的规律为依据，进行经济活动的产业。以生态农业为核心的国民经济的产业结构如下：

生态农业-生态工业-生态信息业-生态服务业

由此可见，整个国民经济的产业活动是在地理环境中进行的，地理环境的建设毫无疑问是破解环境与发展的矛盾的根本途径。

2. 地理环境建设的科学方法是地理系统工程

地理环境建设是一项复杂的地理系统工程，它的任务是在辩证唯物主义自然观与历史观的指导下，“以经济建设为中心”，从国民经济产业结构的整体考虑，将生态农业系统工程方法(生态产业生产力)的建设，同与之相互关联、相互制约、相互影响与相互作用的生态、环境污染、基础设施、资源、灾害、人口等系统工程的建设，作出全面的、系统的规划、设计、组织、试验并付诸实践。

地理环境系统工程由以下相互联系、相互制约的系统工程组成：

首先，生态农业业系统工程，它包括生态农业、生态林业、生态畜牧业、生态渔业、生态加工业等系统工程。

其次，与生态农业系统工程相关的系统工程，主要有以下几个方面：

① 生态系统工程。包括植物、动物、微生物、人群等系统工程。

② 环境污染系统工程。包括点源污染(废气、废水、废物、噪声)、面源污染(农村中的土壤侵蚀、化肥与农药对水土的污染，城镇的污水、空气污染，地区的酸雨、居民的排泄物、废弃物等)系统工程。

③ 基础设施系统工程。包括交通、通信、能源、水利等系统工程。

④ 资源系统工程。包括气候、淡水、生物、土地、矿产等资源系统工程。

⑤ 灾害系统工程。包括自然灾害(暴雨、洪水、干旱、虫灾、地震、火山、海啸)与人为灾害(矿山灾难、交通事故、化工厂事故、突发性传染病、恐怖袭击)的系统工程。

⑥ 人口系统工程。包括人口数量与年龄结构、人口素质与劳动力结构、人口分布于城镇体系；人口流动与产业结构等系统工程。

⑦ 城镇系统工程。包括城市政府、工业园区、科技园区、大学城区、商业社区、金融社区、通信社区、医疗卫生社区、娱乐园区、居住社区、文化园区、动物与植物园区、自然与人文景观公园、体育园区、旅馆社区、生物技术园区、农业园区等系统工程。

3. 地理环境建设的关键是组织管理问题

1987年世界环境与发展委员会在联合国大会上提出报告《我们共同的未来》，

向世界各国提出了呼吁：我们只有一个地球，全世界进行的工业生产正在从根本上改变着地球系统，各国必须共同行动，对环境进行监控与管理，建设人类居住的家园，保证可持续发展。

从历史唯物主义的观点看来，建设生态文明首先要建设它的物质技术基础——生态农业。与此同时，要建设与生态农业系统（生态生产力系统）工程相互关联、相互制约的产业、人口、资源、生态、环境、灾害、城镇、基础设施等系统工程。在建设地理环境系统工程这样一个开放的复杂巨系统的过程中，必须建立地理环境信息系统，以便指挥、控制、协调与沟通。地理环境信息系统是“以地理复杂现象的规律为核心，以最新的数据库系统与网络技术为工具，研究地理信息系统的功能与相应的数据结构”①。它是研究地理现象规律的计算机网络系统，其内容包括“‘脑件’（设计的智慧-严密的逻辑-操作的能力）、硬件（计算机-服务器-网络-外设）、软件（包括软件硬化）、地理信息（包括地理位置编码-地理属性编码-复杂信息模型等）、可更新的数据源（遥感-遥测-定位-地面实测数据等）”②。

从系统科学的体系结构看，地理环境信息系统是建设地理环境系统工程的技术科学。在当代，在空间科学与航天技术、计算机科学与网络技术、地理科学与信息技术三者结合的基础上，地理环境信息系统已经发展成为天地人机信息一体化网络系统③，它包括两大子系统：

① 对地观测信息子系统。其中包括遥感、遥测、定位、通信等卫星信息系统，对地观测信息子系统建立太空计算机信息网络与地面新型网络的连接。

② 人地信息子系统。其中包括遥感、地理、专家、管理、决策等信息系统。

综上所述，运用钱学森创建的开放复杂巨系统的观点、理论与方法，概括总结地理科学技术认识过程的规律性：

地理科学-地理信息科学-地理系统工程

利用与发展信息科学技术，实现从地理科学到地理系统工程的转化，必将为建设生态文明、落实科学发展观，提供可靠的理论依据和强大的科学技术支撑，这对社会主义现代化建设无疑将产生不可估量的作用。

11.2　地理环境建设的基础产业

11.2.1　生态农业是地理环境建设的基础产业

从辩证唯物主义的自然观与历史观看来，必须坚持“农业是第一性生产力”的

① 马蔼乃. 地理科学导论. 北京：高等教育出版社，2005：170.

② 马蔼乃. 地理科学导论. 北京：高等教育出版社，2005：174.

③ 马蔼乃. 地理科学导论. 北京：高等教育出版社，2005.

基本观点，其他生产力（工业生产力、信息业生产力）则是从它派生出来的。现代农业是“生态农业”，它是以生物和环境之间物质循环、能量转化和生物生长为基本特征的农业生产形态。它将农业生产视为生态系统，从生物和环境的有机结合上，充分发挥能量多级转化、物质再生的功能和生物食物链的良性流动，创造出高产量、少污染的优质农产品，实现物流的良好循环和能量的顺利转化，促进和实现农业的可持续发展。可见，“生态农业”是人类社会进入生态文明时代、迫切需要的、可持续的农业生产体系，是地理环境建设的基础。生态农业的基础地位体现在以下几个方面：

（1）在人与自然的关系中农业是最密切与最直接的

这主要表现在：第一，农业生产是“人们赖以生活的主要植物性产品的生产”[①]，因而农业生产“是直接生产者的生存和一切生产的首要条件”[②]。农业生产的生产资料是土地；生产条件是自然条件，如阳光、空气、水分、气候等。第二，农业不仅向人们提供生活资料、工业原料，而且也是人与自然和谐发展的基础，当石油农业破坏了环境，如土壤侵蚀、地下水位下降等，人类便面临生存的威胁。第三，农业是其他产业得以产生和发展的基础，如果没有农业向工业、信息业与服务业提供生活资料与原料，工业、信息业与服务业就不能发展起来。

（2）生态农业是第一性生产力的根本特点

第一，工业生产过程是农产品与工业品的加工过程，是单纯的经济再生产过程；而农业生产过程，不管它的特殊的社会性质如何，经济的再生产过程，不管它的社会性质如何，总是同自然的再生产过程交织在一起的[③]，如果没有自然的再生产，农业生产从而其他生产便无法进行。第二，农业资源是可更新资源，是通过天然作用或人工经营能为人类反复利用的各种自然资源。农业资源主要有土地资源、水资源、气候资源、生物资源等。工业资源主要是经过漫长的地质年代形成的矿产资源，是不可更新的，如金属矿产（如金、银、铜、铁、锡、锰、铝等）和非金属矿产（如煤炭、石油、金刚石、石膏、水晶等），它们的储量是有限的。第三，发展生态农业可以充分利用环境资源，如森林、草地、滩涂、海洋、沙漠等；更重要的是它还可以减轻工业生产与城镇生活带来的严重的生态危机。

11.2.2 创建知识密集型农业

农业生产实质上是“以太阳光为直接能源，靠地面上植物的光合作用来进行产

① 马克思恩格斯全集（25卷）. 北京：人民出版社，1974：694.

② 马克思恩格斯全集（25卷）. 北京：人民出版社，1974：715.

③ 马克思恩格斯全集（24卷）. 北京：人民出版社，1972：398.

品生产的体系。”[①]它是由地理环境、生物、人类组成的一个开放的复杂巨系统，因而生态农业是知识密集型农业。在社会发展史上，农业是人类社会最早的生产活动，至今已有一万年，按照生产力的性质与发展水平，按照劳动工具、劳动者的生产技能和生产力的组合方式，它经历了以下不同的历史阶段：

① 原始农业。出现在新石器时代到铁器时代，农业生产力的水平极其低下，劳动工具是石器、木棍；耕作方法是粗放的刀耕火种、广种薄收，其主要成就是野生动植物的驯化。它靠从地面上掠夺的资源，开始出现生态问题，但尚未形成危机。

② 传统农业。出现在奴隶社会到资本主义工业化以前，生产工具是铁制的，动力是人力、畜力，生产技术主要来自农民的直接经验，采用了施肥、灌溉、轮作、休闲等技术措施。但投入的物质和能量较少，产量较低。它的重大成就是：精耕细作，用地和养地结合，基本上保持了自然生态平衡，环境污染较少。

③ 近代农业。从工业革命到20世纪中叶，工业的巨大进步，为农业提供了各种农业机械作为生产工具；提供了石油、电力等能源为动力；广泛使用各种化学肥料、农药和其他化工产品（如塑料薄膜）；广泛采用科学技术揭示的规律来指导农业生产；采用科学方法来组织管理农业，农业生产区域化、专业化、社会化。近代农业的基本特征是科学化、机械化、社会化，它极大地提高了农业生产力。但是与此同时，带来了极为严重的环境问题，如水土流失、土地沙化、水资源减少、生物资源减少等，解决环境保护与经济发展的矛盾迫在眉睫。

④ 现代农业。它是现代化、集约化、高效化和持续化的农业，是农业生产发展的必然趋势。关于发展现代农业，钱学森的基本思想是：在现代科学技术革命条件下，农业是一门知识密集的产业。农业生产的根本特点，是以太阳光为直接能源，以动物、植物、微生物为对象，依靠植物的光合作用，形成“生产者-消费者-还原者”的食物链。这是生态平衡的基本链条，也是农业生产集约化、高效化和持续化的基本条件。

从上述基本思想出发，钱学森对农业生产的直接能源太阳光能作出估算：巨大的太阳光能只有很小一部分转变为植物产品，其比例不到1%。其余的太阳光能在地球上转化为风力和水力资源，在农业生产中可以利用。植物产品中存储的太阳光能也不能全部直接利用。以粮食作物而论，籽实在干产品中还占不到一半，其他60%是秸秆，当燃料是个大损失，可以作为肥料和有机质还田。在对太阳光能的转化过程作出估算的基础上，他提出提高农业效益的方法，这就是：如何充分利用植物光合作用的产品，尽量插入中间环节，例如下列的环节：

利用秸秆、树叶、草等加工成配合饲料——饲料可以养牛、养羊、养兔、养鸡、养鸭、养鹅——牛粪可以种蘑菇、养蚯蚓（蚯蚓是饲料的高蛋白添加剂）、家禽的排泄

① 钱学森.社会主义现代化建设的科学和系统工程.吴义生编.北京：中共中央党校出版社，1987：249.

物可以再利用;或加工成鱼塘饲料,或送到沼气池生产燃料用气——鱼塘泥和沼气池渣用来肥田。

在上述的太阳光能转化过程中,通过各种中间环节充分利用生物资源(能量循环);充分利用现代科学技术(生物工程);生产过程的组织管理是严密的(管理科学)。这就是知识密集型农业,是生态化、集约化、高效化和持续化的农业,是地理环境建设的一个重要的方向。

11.2.3 知识密集型农业的内容

在市场经济充分发达和科学技术迅猛发展的条件下,现代农业是大农业,它的内容大大扩展了,传统的农业只是其中的一个部门。

广义的农业包括:种植业、林业、畜牧业、副业和渔业。调整农业结构时要考虑:第一,地理环境的特点,如东北大兴安岭的林业,山东沿海的渔业;第二,饮食营养的需要,"以蛋白质为纲"取代"以粮为纲",因为动物蛋白质比谷物蛋白质的营养价值高。

狭义的农业是指种植业,它包括粮食作物、经济作物和其他作物。种植业的生产是第一性生产,其他的生产都直接或间接地源出于植物(生态系统中的生产者),因此种植业结构是农业结构的基础结构,它的优化处于优先地位,是生态农业的基础。

现代农业是生态农业,它最基本的生产资料是土地。土地是由土壤、养料、水分、空气和热量等组成的自然综合体,是进行农、林、牧、副、渔业生产活动的地壳表层,它具有对农作物生长发育与培育的能力。

生态农业是知识密集型农业,它必须有良好的生态环境。为此党中央、国务院对农业的生态环境建设采取了两项重大措施:一是植树,建设林业生态系统;二是种草,建设牧业生态系统。这是发展生态农业的基础。

11.2.4 生态农业的发展方式

"生态农业"是维护生物和环境之间物质循环、能量转化和生物增长的农业生产形态。它将农业生产视为生态系统,从生物和环境的有机结合上,充分发挥能量多级转化和物质再生的功能,创造出高产量、少污染的优质农产品,促进和实现农业的可持续发展。发展生态农业,首先要在植树与种草的基础上,把农业生态系统中的生产者、消费者和分解者之间的物质循环、能量转化与生物增长的过程,联结成一个动态的、平衡的良性循环过程。这就需要采用如下措施。

1. 生态种植业

我国农业生态资源的破坏和恶化,集中反映在水土资源方面,而农业生产离不

开水土资源。因此我国生态农业(特别是生态种植业)的建设应该从改变耕作方法和改良土壤入手,补充土壤有机质和作物生长所需的营养成分,提高土壤肥力,并广泛采用节水技术,减少农业面源污染,坚持走农业可持续发展的道路。

可以采用下列办法:改变我国农业传统的二元结构(粮食作物与经济作物),建立三元结构(粮食作物、经济作物与饲料作物)。为此可以采取下列措施:将玉米、绿肥、牧草等高产优质饲料作物纳入轮作复种之中,扩种豆类、紫花苜蓿、籽粒苋等高蛋白质饲料作物。改良土壤,把农作物秸秆还田,避免由于大量施用化肥造成的土壤有机质下降、土壤板结,土地生产能力下降的生态后果。

根据这个思路,我国科研人员首先成功研制和开发了"生态源"牌有机无机复混肥料。"生态源"肥料的最大特点是:有机质的含量高(占四成左右),因而使用这种肥料可以增加土壤有机质(每年可以增加土壤有机质含量 0.2%),可以有效地改良土壤。这种肥料以富含有机质的工农业废弃物和生活垃圾等为主要原料,经过高温发酵,添加作物生长所需的微量、中量和大量元素,最后烘干、造粒成为缓释放的有机无机复混肥料(专用肥料)。

2. 生态林业

森林具有涵养水源,防风固沙,改善环境(制氧,吸尘,隔音,消毒、杀菌)等功能,因而生态林业的发展,对于保护和修复已被破坏的生态环境具有特别重要的意义。林业生产有两大特点:一是对气候等自然条件依赖性大,可控程度比较低;二是生产周期特别长。发展生态林业可以采取下列措施:

(1) 施肥

在我国,种树历来没有施肥的习惯。因此,树木只能靠吸收土壤分解的养分和落叶及地面覆盖物腐化后的养分来维持生长,这就决定了树木生长必然缓慢。试验证明,"生态源"肥料在经济林木生产上更具有特殊功效。我国拥有广袤的山地和林区,其中属于集体所有的山地都已承包给农民,但由于多种原因,农民习惯称之为"荒山"而未能对农民致富做出贡献。如果都能利用这类肥料,在这些山地种上各种高价值的林木,不仅会更快地改变全国的生态环境,而且还会加速农民的致富过程。

(2) 农林复合经营

这是在同一土地经营单元上,将多年生木本植物与栽培植物或动物精心地结合在一起,通过空间或时序的安排,以多种方式配置的经营方法。它把林业和粮食、经济作物、药材或家禽、家畜和渔业等结合起来,加强了农业各部门之间的协作。农林复合系统是一种人工生态系统,具有多层次的结构,有利于充分利用光、热、水和土壤等自然资源;由于树木根系分布深,从深层土壤吸收营养元素,通过枯枝、枯叶转移到土壤表层,提高土壤肥力;此外,树木的枯枝落叶分解后,增加土壤

的有机质土壤形成多孔结构，有利于保水保肥，增加单位面积的总产量，并为市场提供多种产品。

3. 生态草业

我国有40多亿亩的草地。发展人工牧草，改良和开发草地，是发展生态草业的途径。人工牧草不仅可以增加土壤有机质，改良土壤结构，提高土壤肥力，防止水土流失，而且还可以有效净化空气和调节气候，是牧区生态畜牧业发展的基本方向。利用人工牧草养牛和养羊，以及发展多种农业生态产业，为发展农村经济和增加农民收入做出贡献。利用人工牧草发展菌类生产，提供绿色食品。

4. 生态畜牧业

生态畜牧业的目标是，充分利用土地资源种植人工牧草，防止水土流失，在追求植物资源的循环利用和保护生态环境的同时，尽量增加牛羊肉和乳产品的市场供应，增强国民的健康水平。

人体的重要成分之一是蛋白质，它是衡量食物构成水平的重要标志。动物蛋白质的营养价值比谷物蛋白质高，因而改变食物结构要依靠畜牧业的发展。畜牧业与种植业的关系是密不可分的：一方面畜牧业为种植业提供大量的优质有机肥料和畜力；另一方面种植业能为畜牧业提供大量的必不可少的精粗饲料。要改变偏重种植业、忽视畜牧业的传统观念，走发展节粮型畜牧业的道路。

为了确保我国食物安全，有必要采取以下手段：第一，扩大人工牧草，增强农牧生态系统抵御外界风险的能力，并提供优质的蛋白质饲料；第二，提高饲料转化率，大力发展优质蛋白质饲料生产，改变以猪为主的畜牧业结构和畜禽质量不合理的结构；第三，在维持养猪业现有规模和水平的基础上，畜牧业应以人工牧草改良草场，大力发展食草性动物（主要是肉牛、奶牛和羊）饲养业。

5. 生态渔业

渔业是以水生动植物作为劳动对象的，水生动植物是一种可再生的资源，这种资源的丰歉和生长规律与水文地理条件、水域海况等自然环境有着密切的关系。渔业包括淡水渔业、海洋渔业。在水生动物中鱼类是世界上最丰富的生物资源之一，也是供给人类动物蛋白的重要来源。

生态渔业的基本原则是：一是充分利用土地、水面、阳光和各种物料；二是提高初级产品的利用率和转化率；三是开发和利用能源。在这些原则指导下，建立海水“立体养殖”人工生态系统，使水生动植物互为相长。重点应该把渔业和种植业连成一体，用各种人工牧草组合或发酵而制成的饲料喂鱼，这种饲料可以大大减少养鱼业对水源和环境资源的污染。

对于海洋饲养和淡水饲养来说，重点要加强对于防止鱼饲料和药物对水资源和环境污染的研究，并尽早将研究成果推广到生产实践中去。

6. 绿色食品加工业

生态农业的特点，是通过“种植业-畜牧业-食品加工业”的链条实现物质循环、能量转化与生物增长；提高农业的经济效益和附加值。发达国家的经验证明，食品加工业是国民经济的支柱产业之一，必须形成以市场为导向的绿色食品加工业，以带动整个农业的发展。

11.3　根据我国地理环境的特点建设沙产业与草产业

11.3.1　沙产业[①]

在我国北方，沙漠、戈壁共有130万平方公里，人烟稀少，除少数岛屿般散布的绿洲和天然草场外，全被沙丘和砾石所覆盖。这块“不毛之地”大气干燥，多风少雨，自然地理条件十分恶劣，是产生“生态难民”的根源地。由于滥垦、过牧、大面积樵采等原因更加速了土地沙漠化的蔓延，土地沙漠化被称为当代环境问题之首。在解决经济发展与环境保护的矛盾问题上，如何治理、开发与利用沙漠？这成为地理环境建设中亟待解决的重大问题。钱学森从社会主义现代化建设的全局考虑，从现代科学技术的新进展出发，1984年首次提出了“沙产业”理论。钱学森的沙产业的理论，对人类开辟新的生存空间具有重大意义，他倡导的沙产业建设是社会主义现代化建设的一项重大的战略措施。

何谓沙产业？钱学森认为，从现代科学技术发展的水平看来，沙产业是知识密集型的农业型产业。建设沙产业必须利用全部科学技术，包括：物理学、化学、生物学等基础科学；利用太阳能；应用系统工程进行组织管理，并且建立适合市场机制的沙产业的综合开发。

发展沙产业的关键是什么？地理环境与人类直接相关的是地球表层，它是人类赖以生存和发展的物质基础。地球表层依靠太阳能向人类提供食品和其他生活资料、生产资料。当前人类面临人口增加，食品匮乏的困境，究其原因是地球表层固定、转化太阳能的生态系统受到破坏，或者降低，因此解决问题的根本出路在于：运用现代科学技术的方法和手段来固定、转化太阳能。据此，钱学森倡导的沙产业其基本思想是：沙漠地区分布在地球表面赤道南北一定范围内，如何提高这一地区

---

① 刘恕. 钱学森论沙产业. 见：北京大学现代科学与哲学研究中心. 钱学森与学科科学技术. 北京：人民出版社，2001：第10章.

的太阳光能的固定与转化的效率，这是发展沙产业的关键。由于太阳能存在着单位面积上强度不高、能量辐射不恒定等特点，利用绿色植物的光合作用固定太阳能是最理想的手段。为此，他主张充分利用高新技术，跨行业、跨领域地运用物理的、化学的科学原理，运用新技术革命的成果（新工艺、新材料、新能源等），创造植物光合作用的条件，最大限度地利用太阳能。

农业生产实际上是利用光合作用，在单位受光面积上最大限度地固定太阳能，这是农业生产的最高目标。沙漠地区全年的太阳辐射是充沛的，但是绿色植物生长需要的相应的积温、肥沃的土壤、足够的水源，沙漠地区却不具备，因此建设沙产业的核心问题是利用现代化技术，人工改善植物固定、转化太阳能的生态环境，尽力提高光合作用的效率。

据此，沙产业的技术路线是：多采光，把太阳光能最大限度地采收下来；少用水，合理地利用天然降水和地下水；应用新材料、新工艺，摆脱传统的农业生产方式的束缚，例如，应用塑料薄膜、温室技术、滴灌、渗灌，等等。钱学森指出，沙产业实际是高科技农业生产的试验，在钱学森的倡导与大力支持下，沙产业已在我国沙漠化地区取得成功，它的成功经验将来因地制宜推广到全国各地。

11.3.2 草产业①

我国拥有居世界第二，占国土 41%的 4 亿公顷草地资源，但草地生产力比世界发达国家落后半个世纪以上。在面临人口增加、耕地减少、生态环境恶化、东西部发展差距加大的趋势下，优化管理与开发利用草地资源，将对我国地理环境建设、从而对可持续发展起着重大的作用。钱学森正是考虑到这一国情，满怀着拳拳赤子之心，根据现代科学技术的新进展，于 20 世纪 80 年代中叶首次提出创建知识密集型草产业的宏伟设想，在他的倡导与支持下，一大批有志于此的同志，对草产业的内涵、科技、机制、管理及发展前景进行了深入的探讨，并初步概括总结如下。

1. 草地资源是地理环境建设的战略资源

草地是人类生存和发展的基本的土地资源。世界上除森林以外的农用土地中，草是种类最多、适应性最强、覆盖面最大、周转速度最快的可更新资源。草地还是依存其上的动植物、微生物、矿物、风、光、水、气，自然和历史等文化遗产等共生资源的载体。

我国草地面积广阔，在林地以外的农用土地中占 75%。草地类型之多和天然牧草品种之富，居世界首位。各种牧草各有适应不同环境气候条件生长的特性，是

---

① 李毓堂. 钱学森论知识密集型草产业. 见：北京大学现代科学与哲学研究中心. 钱学森与学科科学技术. 北京：人民出版社，2001：第 11 章.

开发生物工程技术的宝贵基因库。草地上还分布有丰富的珍稀野生动植物、优良家畜品种、风能、太阳能、天然气、地热、水资源、各种矿藏、奇特地质地貌等自然文化遗产和名胜古迹等历史文化遗产，以及民族风情等人文资源。

总而言之，草地资源是构成人类社会经济发展和生态环境条件的物质基础，是地理环境建设的战略资源。

2. 草产业的生态功能及我国草地资源的现状

发展草产业，牧草的地被植物，可以防风固沙、保持水土、净化空气；豆科牧草有根瘤固氮、改良土壤的特殊功能。在高寒、干旱条件下发展草产业比林木有更强的绿化功能。草地生态和植草绿化是衡量国土生态环境现状水平和未来治理国土的基本要素。

发达国家在发展过程中，都把优化管理与开发利用草地资源放在社会发展战略的重要地位上，甚至视之为"立国之本"。通过严格执法，围栏化保护、合理利用，不断改良和大力兴建人工草场，使草地生态和草地生产力达到一定的优化水平。

我国的传统观念是轻草贱草，没有把优化管理与开发利用草地资源放在国家发展战略的位置上，人们对草地只利用不建设，超载过牧，导致 80%以上草原严重退化、沙化，国土生态环境恶化情况极为严重。我国草地大都分布于青藏、云贵、蒙新和黄土高原以及黄河、长江上中游高山陡坡山区。草地退化、沙化加重了全国风沙危害、水土流失和土地沙漠化的扩展，影响到黄河淤积加剧、长江水患加重、沙尘暴愈演愈烈。草原上的珍稀野生动植物资源遭到毁灭性破坏。此外，由于鼠虫的天敌减少，促使鼠虫害蔓延，更加重了生态环境恶化。

3. 钱学森倡导的知识密集型草产业理论与方法

(1) 关于草产业的基本思想

钱学森从开放的复杂巨系统概念与方法出发，把以草地为载体空间的牧草和一切共生资源看作是一个密切相关的统一体，认为草产业是一个庞大复杂的生产经营体系，它以草地为基础，利用太阳光能合成牧草，然后用牧草饲养兽畜、生物，并运用生物、机械、化工、信息等一切可以利用的现代科学技术手段，综合开发草地上以牧草为主的共生资源，建立起创造物质财富的高度综合的产业系统。

因此，草产业是在种植优良牧草、改良土壤、建立优化生态系统的基础上，发展草、牧、林、渔、工、商、旅等连锁产业，建立起高度综合的、能量循环的、科学管理的、生态优化的、多层次、高效益的产业巨系统。

(2) 关于草产业的系统工程

根据草地资源开发利用所涉及的领域，草产业系统工程可以划分如下：

第一个层次是两个大系统，即生产系统和管理系统。

第二个层次是八个分系统，生产系统内包括自然生态、植物生产、动物生产、生物的加工与商贸共四个分系统。这是草产业发展的纵向划分。

管理系统内包括社会、技术、经济、生态共四个分系统。这是草产业发展的横向划分。社会管理分系统属于生产关系和上层建筑的范畴，主要包括草地的法制、生产经营体制、生产方针、产品流通体制、社会服务机制、市场设施等。

(3) 关于草产业系统工程的基本模式

20 年来，经过科技工作者的反复实践，探索出一条适合我国国情发展草产业的基本模式，可以概括为：

① 整体目标。以发展专业化、社会化、商品化的现代草产业经济为目标。

② “三结合”方针。一是以养草为基础，实行种植、养殖、加工三者的有机结合，协调草产业的发展；二是实行生产、科研、培训三结合，把草业生产建立在系统建模、系统仿真等科学试验的基础上，提高干部、群众的生产管理水平和科学思想水平；三是牧、工、商三结合，形成草地牧工商经济联合体，具有经营自主权产品销售权。

③ 改革措施。进行草地和牧业生产经营体制、生产技术、经济管理、产品流通体制、项目组织领导和总体管理方法五项改革措施。

参考文献

李毓堂. 钱学森论知识密集型草产业. 见：北京大学现代科学与哲学研究中心. 钱学森与学科科学技术. 北京：人民出版社，2001.

刘恕. 钱学森论沙产业. 见：北京大学现代科学与哲学研究中心. 钱学森与学科科学技术. 北京：人民出版社，2001.

马霭乃. 地理科学导论. 北京：高等教育出版社，2005.

马克思恩格斯全集(24 卷). 北京：人民出版社，1972.

马克思恩格斯全集(25 卷). 北京：人民出版社，1974.

马克思恩格斯全集(3 卷). 北京：人民出版社，1965.

钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007.

钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程. 吴义生编. 北京：中共中央党校出版社，1987.

第四篇　钱体系开拓的科学新领域

第十二章　现代科学技术整体化发展的基础科学——系统科学

从1956年到1979年，钱学森在开创我国火箭、导弹和航天事业的工程实践中，独立地提出有中国特色的系统工程，它是不同学科、不同领域的相互交叉、结合与融合的综合集成。钱学森认为[①]，系统工程可以解决的问题涉及改造自然，改造、提高社会生产力，改造、提高国防力量，改造各种社会活动，直到改造国家的行政法治等。系统工程是伟大的技术革命，它的意义绝不亚于18世纪末的工业技术革命。但是，系统工程是工程技术，必须从马克思主义的立场、观点和我国的实际出发，把它上升为完整的科学理论。

钱学森遵循马克思主义的认识论，把现代学科科学技术认识过程，按照“实践-认识”循环往复的过程划分为五个环节：

工程技术-技术科学-基础科学-桥梁(部门哲学)-马克思主义哲学

而系统工程是一大类工程技术(如工程、科研、企业、信息、军事、经济、环境、教育、社会等的系统工程)的总称。系统工程横跨了自然科学、数学、社会科学、技术科学和工程技术，是现代科学技术的综合集成。钱学森认为，为了适应现代科学技术综合发展的需要，必须对系统工程进一步概括，把它提高到基础科学与哲学的层次，使它成为科学技术发展转向时期的认识论与方法论。为此，钱学森从1979年以后，以极大的精力，从

基础科学-桥梁(部门哲学)-马克思主义哲学

三个环节的相互联系上对系统科学研究的新进展进行概括与总结，独立地提出系统科学这一大门类，为科学技术整体化研究方向创建新的理论与方法——系统科学与系统方法。

12.1　马克思恩格斯的系统思想

系统科学最基本的、核心的概念是系统。如何理解系统？这是创建系统科学的基本问题。钱学森强调指出[②]：一定要用马克思主义哲学来指导系统科学的研究，绝不能搞机械唯物论，也绝不能搞唯心论，要维护辩证唯物主义。

---

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：98.

② 钱学森. 创建系统学. 上海：上海交通大学出版社，2007：162.

从历史上看，系统思想的产生与发展，是自然科学发展的必然。19世纪末恩格斯就已经指出[①]：自然科学发展到了一个重大的历史转变时刻：从分门别类的科学研究开始走向系统的科学研究。这主要是由于自然科学的巨大进步，特别是细胞、能的转化和进化论的发现，使得我们不仅能够指出自然界中各个领域内的过程之间的联系，而且总的说来也能指出各个领域之间的联系。这样我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画。自然科学研究从此迈出了决定性的一步，即从孤立地、静止地、分门别类地研究事物，过渡到系统地研究事物在自然界本身中所发生的变化过程，把科学"结合为一个伟大整体的联系的科学"[②]。恩格斯从辩证唯物主义的高度，深刻地指出：系统的思想是一个伟大的基本思想，它认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体，世界上一切事物不是固定不变的，而处在生成和灭亡的不断变化中。系统的观点与方法是辩证唯物主义基本原理的丰富与发展，它包括如下几个方面。

1. 系统是普遍存在的

在自然界，恩格斯指出："我们所面对的整个自然界形成一个体系，即各种物质相互联系的总体，……这些物体是相互联系的。"[③]在人类社会，马克思指出："人们在自己生活的社会生活中发生一定的、必然的、不以他们的意志为转移的关系，即同他们的物质生产力的一定发展阶段相适应的生产关系。这些生产关系的总和构成社会的经济结构，即有法律的和政治的上层建筑竖立其上并有一定的社会意识形式与之相适应的现实基础。"[④]换言之，社会是一个有机体，如图12-1所示。

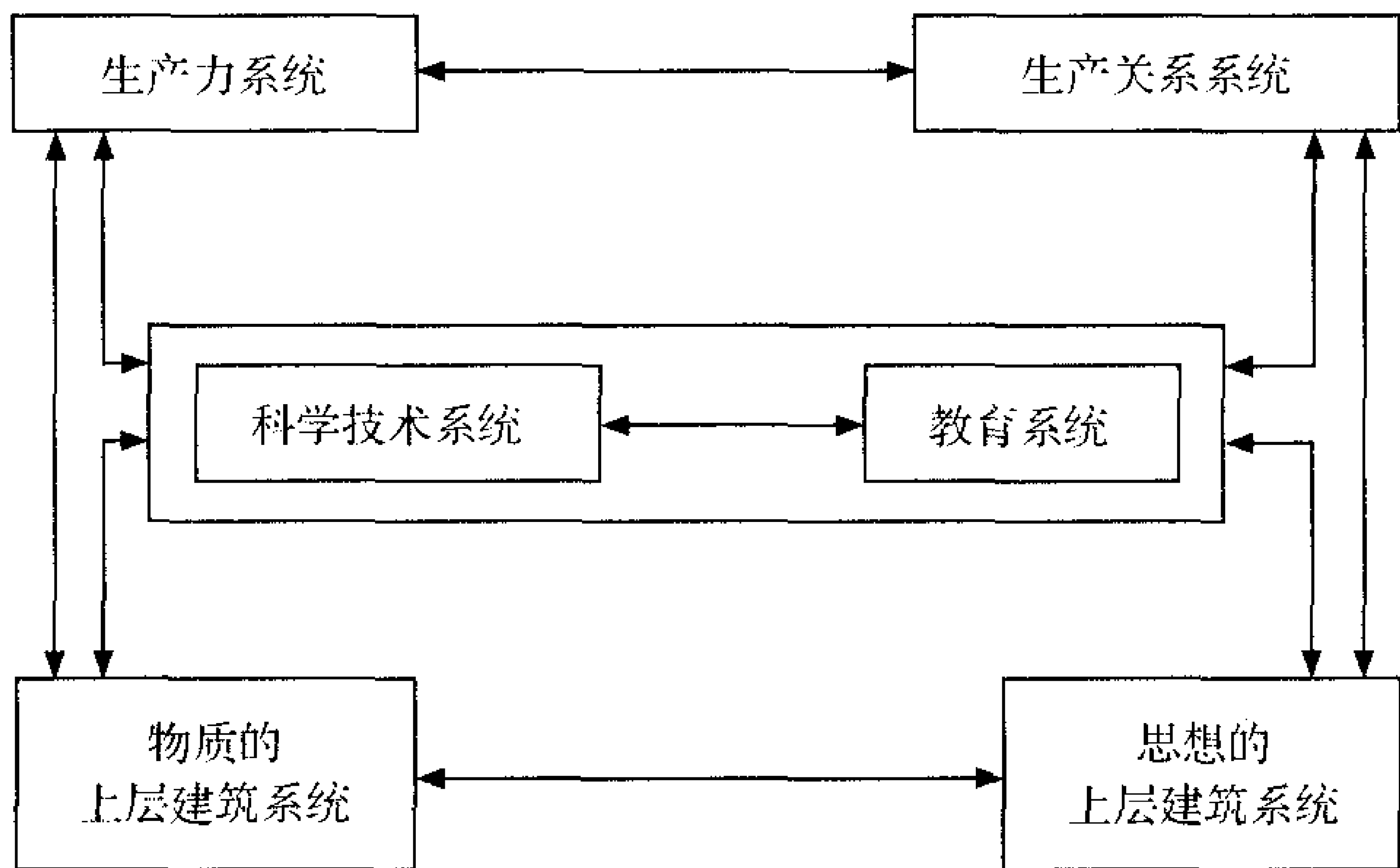


图 12-1

① 马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1977：241，242.
② 马克思恩格斯选集(4卷). 北京：人民出版社，1977：241.
③ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：409.
④ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：82.

2. 系统的基本特征

它实际上是辩证法基本特征，主要如下：

(1) 系统是运动变化发展的

在自然界中，辩证自然观认为："整个自然界，从最小的东西到最大的东西，从沙粒到太阳，从原生生物到人，都处于永恒的产生和消灭中，处于无休止的运动和变化中。"[①]在人类社会中，历史唯物主义认为：社会"不是坚实的结晶体，而是一个能够变化并且经常处于变化过程中的机体。"[②]因而"社会经济形态的发展是一种自然历史过程。"[②]

(2) 系统是有层次结构的

在自然界中，恩格斯认为[③]，从质量互变的辩证规律看来，物质结构是按质量的相对大小分成一系列较大的、容易分清的组，使每一组的各个组成部分互相间在质量方面都具有确定的、有限的比值，如：

恒星系-地球上的物体-分子-原子-以太粒子

物质系统的这种层次性表现在：纯粹的量的分割有一个极限，到了这个极限它就转化为质的差别。

社会系统也是有层次结构的，如：

物质生产方式(生产力与生产关系)-上层建筑-社会意识形式

物质生产方式是基础，在它上面竖立起维护它的上层建筑及与之相适应的社会意识形式。物质生产方式制约着整个社会生活、政治生活和精神生活的过程，当社会的物质生产力发展到一定阶段便同它们一直在其中活动的现存生产关系发生矛盾。于是这些关系便由生产力发展形式变成生产力的桎梏。这时候社会革命的时代就到来了。

(3) 系统中各个要素是相互联系、相互作用的

恩格斯说："辩证法是关于普遍联系的科学"[④]，正是事物的相互联系，也就是说它们的相互作用，构成了运动。在自然界中，恩格斯指出，我们看到一系列的运动形式，机械运动、热、光、电、磁、化学的化合和分解、聚集状态的转变、有机的生命，这些运动形式都是相互转化、相互制约的，因此"相互作用是事物的真正的终极原因。"[⑤]只有从这个普遍的相互作用出发，我们才能了解现实的因果关系。在人类社会中，生产力与生产关系、经济基础与上层建筑、上层建筑及与之相适应的社

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：370.
② 马克思恩格斯全集(23卷). 北京：人民出版社，1972：12.
③ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：614.
④ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：357.
⑤ 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：574.

会意识形式，它们的相互联系与相互作用，是社会运动与发展的原因。

(4) 系统的中心思想是“整体大于部分之和”

恩格斯指出，在有机界中，整体和部分是愈来愈不够的范畴，例如，种子的萌芽(胚胎和生长出来的动物)，就不能看作是从“整体”中分出来的“部分”。只是在尸体中才有整体与部分。骨、血、软骨、肌肉、纤维质等等的机械组合，无论如何都不能造成一个动物，因此简单的和复合的在系统中是不适用的范畴。在人类社会中，许多人在同一生产过程中，有计划地一起协同劳动，这种结合劳动的效果是个人劳动根本不可能达到的，它不仅通过协作提高了个人生产力，而且创造了一种生产力，这种生产力必然是集体力。这是“新的力量”，“这种力量和它的一个个力量的总和有本质的差别。”①

12.2　20世纪前期贝特朗菲的一般系统论

贝特朗菲的一般系统论是系统科学的哲学，在钱学森现代科学技术体系结构中，是联系哲学与系统科学的桥梁，属于部门哲学。一般公认，一般系统论的产生是从20世纪初奥地利生物学家贝特朗菲的“一般系统论”开始的。

12.2.1　一般系统论产生的时代背景

贝特朗菲所处的时代，生物学界中流行机械论和活力论两种对立观点的激烈争论，争论问题的中心在于：如何理解生命现象与非生命现象之间的联系与区别。

机械论一方力图用还原论方法，把生物运动简化还原为机械运动、物理运动和化学运动，用机械、物理和化学的原因来说明生命现象(生理现象和心理现象)。应该指出，机械论对生命现象的研究提供了十分有价值的成果，因为高级运动形式的生命有机体，包含着机械的、物理的、化学的低级运动形式；分析的方法对于理解复杂的生命现象，无疑是必要的。但是应该指出，机械论忽略了生命现象中的一些重要的特征，如整体性、动态性、方向性、目的性、秩序性、组织性、等级结构、相互作用等，生命现象独有的这些特征单纯用机械论的观点是无法作出合理的解释的。

活力论一方则认为，生命现象不能还原为物理、化学的现象，提出“活力”是生物体内超物质的、赋予生物体以目的和生命力的力量。它对还原论的批判有其合理的一面，但它把“活力”看成是一种超自然的力量，不能从生命物质本身进行理解，则是错误的。

贝特朗菲一方面肯定了机械论的价值，对活力论持批判态度；反对活力论者用新术语来表述和重新提出“隐德莱希”之类的陈旧观念；反对活力论者拒绝用自然

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：139.

科学方法来解释"活力"现象。但是另一方面他认为，活力论者在反对机械论时，坚持要对生物有机体给予整体性、目的性的解释则是合理的。

12.2.2 一般系统论的基本思想

贝特朗菲多次发表文章表达一般系统论的思想，他先是在生物学中提出有机体的概念，强调系统的观点，这就是：必须把生物有机体当作一个系统的整体，并把它与其外部环境作为一个大系统来研究。接着他提出了研究生物体的三个基本观点，即：系统观点、动态观点和层次观点，认为不论系统的具体种类、组成部分的性质和它们之间的关系如何的不同，都存在着适用于系统的一般模式、原则和规律。这些基本观点体现了他的一般系统论的基本思想。

系统是一般系统论的基本概念。贝特朗菲认为，系统无处不在，它存在于一切领域。系统的含义是"处于一定的相互关系中并与环境发生关系的各组成部分(要素)的总体。"[①]系统思想之所以是一个新的、科学研究的范式，在于它具有不同于分析思想的基本特征，主要是：

(1) 系统的整体性

系统的整体性是系统的根本特性，一般系统论同机械论对系统的观点有本质的区别。后者认为系统整体的性质或特点是系统组成部分的性质或特点的简单总和。贝特朗菲从理论生物学的角度认为[②]："整体大于部分之和"，系统整体的性质或特点不能用组成部分的性质或特点来解释。这就是说：系统的整体具有系统中的部分所不具有的性质。也就是说，系统的整体不同于系统中的部分简单加和。从系统的整体性这个根本特性出发，贝特朗菲给出了一般系统论的定义：它"是关于'整体'的一般科学。"[③]

(2) 系统的层次性

系统的层次性是由于组成系统的各种要素之间结合方式上的差异，形成了有秩序的等级。层次性是一般系统论的一个基本概念[④]。有机体就是一个有层次的系统，具体如下：

有机体-细胞-聚合物-高分子-分子-原子-原子核-基本粒子

这样一层一层地从最低层次组合为愈来愈高的层次。不同层次的系统，有着不同的功能。"在'结构'和'功能'中都可以看到类似的层次系统。归根结底，结构(部分的秩序)和功能(过程的秩序)完全是一回事。"[⑤]层次性原理是一般系统论的主

---

① 贝特朗菲.普通一般系统论的历史和现状.国外社会科学，1978,(2):15.

② 贝特朗菲.一般系统论：基础，发展和应用.北京：清华大学出版社，1987:51.

③ 贝特朗菲.一般系统论：基础，发展和应用.北京：清华大学出版社，1987:34.

④ 贝特朗菲.一般系统论：基础，发展和应用.北京：清华大学出版社，1987:25,69.

⑤ 贝特朗菲.一般系统论：基础，发展和应用.北京：清华大学出版社，1987:25.

要支柱。

（3）系统的开放性

系统的开放性是指系统与外部环境进行物质、能量、信息交换的功能，这是系统得以向上发展的前提，也是系统得以稳定存在的条件。传统物理学只处理封闭系统，即只考虑与外界隔绝的系统，因此热力学定律，特别是热力学第二定律，只适用于封闭系统。贝特朗菲指出①：每一个生命有机体本质上是一个开放系统，在与外部环境不断地交换物质、能量与信息的过程中，通过其组成部分的不断的构成与破坏而维持自己，它永远不会处于化学与热力学的平衡状态，而是维持在与平衡状态不同的所谓稳态上。这是基本生命现象新陈代谢的真正本质。一般系统论强调系统的开放性。

（4）系统的目的性

机械论观点不能给予"目的性"以科学的解释，这是它不能解释宇宙演化现象的根源。贝特朗菲在创建一般系统论时，赋予"目的性"以科学的含义。他指出②：一个系统的发展方向取决于该系统的"果决性"（finality，或目的性）。所谓"果决性"是指系统的发展方向不但由它的现实状况所决定，而且还由它所要达到的最终状态所决定。所以目的性也就是过程走向最终状态的针对性。贝特朗菲认为，"果决性"在任何系统，无论是机械系统还是其他类型的系统中，都是客观存在的。这样就避免了"目的性"的拟人解释的错误。

（5）系统的关联性

系统的整体性是由系统内各个因素之间，以及系统与环境之间的有机联系来保证的，因而可以将系统定义为"相互联系与相互作用着的复合体"。系统内各个因素之间的相互联系与相互作用就是系统的"有机关联性"，它是一般系统论的一个重要概念。"有机关联性"包括两方面的内容：一方面是系统中的各个因素不仅是各自独立的子系统，而且是组成母系统的有机成分；另一方面是系统与环境处在有机联系中。"有机关联性"使得系统的整体性进一步具体化、深刻化，它表明系统的整体性不是系统中各个要素的机械的汇集，而是彼此相互联系、不可分割的。除此之外，系统与其外部环境之间的有机联系，使得系统具有开放性。

总之，一般系统论将世界视为系统与系统的集合，认为世界的复杂性在于系统的复杂性，将研究和处理的对象作为一个系统的整体来对待；一般系统论在研究过程中注意掌握对象的整体性、关联性、等级结构性、动态、平衡性及时序性等基本特征。所以，一般系统论不仅是反映事物运动变化的客观规律的科学理论，也是科学研究的思想方法的理论。一般系统论的研究目的，不只是认识系统的特点和规律，

---

① 贝特朗菲.一般系统论：基础，发展和应用.北京：清华大学出版社，1987：36.

② 贝特朗菲.一般系统论：基础，发展和应用.北京：清华大学出版社，1987：71.

反映系统的层次、结构、演化，更主要的是调整系统结构、协调各要素关系，使系统达到优化的目的。一般系统论的基本思想、基本理论及基本方法，反映了现代科学发展整体化和综合化的趋势，为解决现代社会中政治、经济、科学、文化和军事等各种复杂问题提供了方法论基础。

12.2.3　一般系统论的基本任务

1968年贝特朗菲发表的《一般系统理论——基础、发展和应用》，确立了一般系统论这门科学的地位，被公认为是这门科学的奠基作。贝特朗菲认为，现代科学的发展一方面是专门化，不断产生新的分支，科学被分割为无数的学科；另一方面是综合化、一般化，它把各门学科视为"系统"，研究的对象不是专门学科的、特殊的问题，而是各个专门学科共同具有的问题和概念，如整体性、组织性和动态相互作用等问题，和模型、同构、方向和目的等概念。经典物理学是科学专门化发展的代表；一般系统论是科学综合化发展的代表，它研究"一般地适用于'系统'的各种原理"[①]，是介于哲学与自然科学之间的一种基本理论，也是一般的科学方法。

总之，一般系统论是建立在各个系统之间的相似性或同构性的基础上的"科学统一"，而不是逻辑实证主义建立在语言分析基础上的"科学统一"。因此，贝特朗菲认为，一般系统论和经典自然科学不同，它的任务是[②]：

① 综合各种不同的学科，包括自然科学和社会科学，促进科学的综合化。

② 以系统的一般理论为原理，综合各种不同的学科。

③ 为非经典自然科学提供精确理论的一种重要方法。

④ 它提出的原理是贯穿于各种不同的学科的共性的原理，它使我们走向科学大统一的目标。

⑤ 它能够导致迫切需要的综合科学教育。

12.2.4　一般系统论的基本内容

贝特朗菲的一般系统论包括极广泛的研究领域，主要是三个方面[③]：

（1）系统科学

研究各门科学中的"系统"的共同特点与共同规律，以及在此基础上提出适应于所有系统的一般性原理。

（2）系统技术

贝特朗菲的系统技术，实际上还包括钱学森构建的系统科学技术体系结构中

---

① 贝特朗菲．一般系统论：基础，发展和应用．北京：清华大学出版社，1987：3.

② 贝特朗菲．一般系统论：基础，发展和应用．北京：清华大学出版社，1987：3～5.

③ 贝特朗菲．一般系统论：基础，发展和应用．北京：清华大学出版社，1987：3～6.

的系统工程。它用系统思想和系统方法来研究工程系统、生命系统、经济系统和社会系统等复杂系统。它包括计算机、自动化、自调节机构等硬件，以及新的理论成果、学科等软件。

(3) 系统哲学

包括系统的本体论、认识论、价值论等方面的内容。它主要研究一般系统论的科学方法论的性质，并把它上升到哲学方法论的地位，内容包括系统思想、系统同构、开放系统和系统哲学等方面。

12.3 20世纪后期系统科学的兴起

系统科学是以系统思想为中心的一门新兴的科学，是20世纪20年代从贝特朗菲提出一般系统论，以及40年代信息论、控制论、运筹学的诞生以来，发展最快的一门综合性的科学。它主要是在现代科学技术革命的新形势下，从认识自然、改造自然和认识社会、改造社会的迫切需要发展起来的，主要是来源于以下三大领域。

12.3.1 软科学——管理科学

它是一门自然科学与社会科学交叉的、综合性的新兴科学。其特点是运用系统理论、系统方法、决策科学与计算机技术，对政治、经济、科学、技术、教育、环境等复杂性问题，从组织管理的角度，研究解决问题的途径和方案，为有关部门制定发展战略、目标规划、政策法规等提供科学的理论依据。

软科学是相对于硬科学而言的；硬科学研究物质实体的运动方式、运动规律与发展变化，如物理学、化学、生物学等；软科学则对物质实体的运动方式、运动规律与发展变化，从系统的观点出发、研究如何从总体上与动态上，进行组织、管理、指挥、控制、协调，以实现系统的整体优化效应。

软科学不同于其他交叉科学在于：一是研究对象不同。现代社会是有组织的社会，现代社会活动是有组织的活动。软科学研究的对象，是以“人理-事理-物理”为中心、由许多系统(如社会系统、环境系统、人-机系统等)组成的复杂系统。二是研究任务不同。科学研究的任务是认识世界与改造世界；前者是理论科学，后者是应用科学。软科学研究的任务则是把两者紧密地结合在一起，并且把重点放在应用上，这就是说，在认识“人理-事理-物理”系统的结构关系和运动规律的基础上，对系统的运行进行科学的管理、协调、领导和决策。

从软科学的应用，可以把软科学分成以下几个门类：

(1) 管理学

管理起源于人类的共同劳动,马克思指出[①]:一切规模较大的社会劳动,都需要指挥,以协调个人的活动,并执行生产总体的运动所产生的各种一般职能。指挥、协调、控制、组织就是管理的职能。管理有两重属性:一方面管理是由生产力的发展水平决定的,它提出社会协作劳动的要求,是一系列科学方法的总结。这是管理的自然属性。另一方面管理是受社会形态制约的,不同的社会形态对人际关系的规定和调节是不同的,从而管理的目的、体制和利益分配是不同的。这是管理的社会属性。

现代社会是一个开放的复杂巨系统,没有管理就不可能稳定地朝前发展。从管理的自然属性来看,现代管理学研究的内容大致如下:一是管理的历史;二是管理的基本原理;三是管理的功能;四是管理的方法;五是管理需要的硬件(计算机)与软件(政策、法规、规章、制度等);六是管理者的素质。从管理的社会属性来看,管理是一种社会活动,具有历史性、社会性、综合性与适用性,必须注意不同社会形态下不同的价值取向。

(2) 组织学

一切社会实践活动都离不开人和人的行为,组织工作就是如何把人们组织起来,成为一个有机的整体,和谐地、积极地从事共同工作。因此:

组织学的基本前提:了解人,了解人的个性、简历、需求与价值观。因为人是一切实践活动的主体。

组织的特征:任何组织都是社会系统,这是因为,一方面组织中的成员既互相依存又互相影响;另一方面一切组织都处在一定的社会历史环境中,它的活动要受到社会、经济、政治、文化等的发展规律的制约,还受到组织内各个成员之间的人际关系的影响。

组织学研究组织的结构、体制、战略、文化和人事等方面,研究的内容包括以下方面:

① 组织的分类。不同组织的结构、作用和活动方式是不同的。依照组织的社会功能可以分为经济组织、政治组织、文化组织、宗教组织等。

② 组织的要素。物质要素有人、财、物等;精神要素有目标、文化、价值观等。

③ 组织对目标、发展战略与组织文化。

④ 组织结构与领导体制。

⑤ 组织成员的权利与义务,等等。

(3) 决策学

它是一门研究科学决策的理论、原则、程序和方法的综合性学科,创始人是美

---

① 马克思.资本论.北京:人民出版社,1972:1,387.

国著名科学家西蒙。西蒙认为，组织的全部活动都是集体的活动，而决策贯穿于管理的各个方面和全部过程，因而管理就是决策。决策学研究的内容主要有：

① 现代决策的特点。现代决策面临的是一个开放、复杂、多变的大系统，要求决策迅速及时、定性与定量准确、全局与局部兼顾。

② 现代决策的体制。现代决策是一个由决策集团、智囊机构和计算机系统三部分组成的体制。计算机系统对相关信息进行存储、鉴别、对比、分析（趋势分析）和定量计算，为及时而准确的决策提供科学的依据；智囊机构将计算机系统提供的信息，进行加工，提出可行性方案，包括对问题的观点、解决的途径与实施的方法，它起承上启下的作用；决策集团在智囊机构提供的方案与计算机系统提供的信息的基础上，经过反复讨论，重点试验后，形成决策方案。

③ 现代决策的程序。按照认识过程可以把决策程序分为下列几个步骤：

确定目标-调查研究-拟出可行的方案-选择最佳方案-实施-检查与验证

(4) 领导学

领导是人类有组织地从事社会活动，能动地改造客观世界必不可少的一种职能。在一般的管理功能（指挥、协调、控制、执行）中，领导在职务方面他是指挥者，率领、引导整个组织朝预定的目标努力；在活动方面他负责协调、沟通、控制整个组织，使它成为一个有机的整体，适应环境的各种变化。

现代领导面临的是复杂多变的情况，他领导的组织是复杂的社会系统，其中的成员有不同的知识水平、不同的需求、不同的工作条件、不同的文化背景，等等。单凭个人的、经验的领导显然落后于时代的要求，因此，现代领导是集体的、科学的领导。

集体领导主要是由领导集团和智囊团（相关领域的专家）组成。领导集团的成员应该是有威信、有影响力、有吸引力和凝聚力的成员。至于智囊团，钱学森根据现代科学技术、特别是系统科学与系统工程的发展，认为它应该是总体设计部，它由熟悉所研究系统的各个方面的专家组成，并由知识面比较宽广的专家负责领导，对系统进行总体研究、总体分析、总体论证、总体设计、总体协调、总体规划，提出具有科学性、可行性和可操作性的总体方案和实施途径。这是管理科学化、民主化、程序化和管理现代化的关键所在。

12.3.2 自组织理论——系统的形成演化理论

自组织理论是 20 世纪 60 年代末期开始建立并发展起来的系统理论，是贝特朗菲一般系统论的新发展。自组织理论以新的概念、理论方法研究自然界和人类社会中的复杂系统（如生命系统、人脑系统、生态系统、社会系统等），探索其形成和发展的机制问题，即：在一定条件下，系统是如何自动地由无序走向有序，由低级有序走向高级有序的。

从马克思主义哲学观点看来①，事物的内部矛盾是事物变化发展的根本原因，矛盾是一切自己运动的原则，而自己运动就是矛盾的表现。如何科学地说明事物自己运动？如何科学地揭示事物生成与演化的机制、规律？自组织理论从科学方面探讨这些问题，它研究系统通过自己运动，形成、完善或改变自己的结构、功能、属性。系统自己运动、自组织的过程，是从物理化学系统到生命系统，到社会系统，直到思想文化系统，普遍存在的过程和普遍存在的机制。

自组织理论方法主要包括自组织的条件方法论、自组织的协同动力学方法论、自组织演化路径（突变论）的方法论、自组织超循环结合方法论、自组织分形结构方法论、自组织动力学（混沌）演化过程论、综合的自组织理论方法论等。

1. 耗散结构论

1969 年著名的统计物理学家普利高津，在国际“理论物理与生物学会议”上，发表题为《结构、耗散和生命》一文中提出了耗散结构理论。它是用热力学和统计物理学的方法，研究耗散结构形成的条件、机理和规律的理论。普利高津在研究了诸多远离平衡态的现象后，认识到系统在远离平衡态时，其热力学性质可能与平衡态、近平衡态有重大原则差别。

耗散结构理论可概括为：在远离平衡态的条件下，非线性的开放系统通过不断地与外界交换物质和能量，当系统内部某个参量的变化达到一定的阈值时，通过涨落，系统可能发生突变（即非平衡相变），由原来的混沌无序状态转变为一种有序状态。这种新的稳定的宏观有序结构称之为“耗散结构”。

普利高津和他的同事在建立“耗散结构”理论时准确地抓住了如贝纳尔流、B-Z 化学波和化学振荡反应以及生物学演化周期等自发出现有序结构的本质，提出了“自组织”的概念，并用它来描述那些自发形成有序结构的过程。在研究了大量系统的自组织过程以后，普利高津总结出系统形成有序结构所需要的条件：

① 系统必须是开放的。耗散结构理论认为，孤立系统的熵是增加的，总过程是从有序到无序；而对于开放系统来说，由于通过与外界交换物质和能量，可以从外界获取负熵用来抵消自身熵的增加，从而使系统实现从无序到有序、从简单到复杂的演化。

② 系统要远离平衡态。这是系统出现有序结构的必要条件，也是对系统开放的进一步说明。开放系统在外界作用下离开平衡态，开放逐渐加大，外界对系统的影响逐渐加强，将系统逐渐从近平衡区推向远离平衡的非线性区，只有在这个时候，才有可能形成有序结构，否则即使系统是开放的，也无济于事。

③ 子系统之间存在着非线性相互作用。组成系统的子系统之间存在着相互

① 列宁全集. 北京：人民出版社，1959：146，147，407，408.

作用，一般而言，这些相互作用是非线性的，不满足叠加原理。正是由于这个原因，由子系统形成系统时，才会涌现出新的性质。

④ 系统偏离稳定状态。这就是涨落，它是实际存在的一切系统的固有特征。由于系统内部原因造成的涨落，称为内涨落；由于系统外部原因造成的涨落，称为外涨落。处于平衡态系统的随机涨落，称为微涨落；处于远离平衡态的非平衡态系统的随机涨落，称为巨涨落，它的随机的小涨落有可能迅速放大，使系统由不稳定状态跃迁到一个新的有序状态，从而形成耗散结构。

这样，耗散结构理论就第一次明确划分了"存在的物理学"和"演化的物理学"之间的区别[①]，从自然观、物质观、时空观、规律观、科学观等方面，深刻地揭示了机械论的局限性，并且通过系统自组织能力，填平了"物理世界演化"与"生物世界演化"之间的鸿沟，从而在两种文化(科学文化与人文文化)之间构架了一座沟通的桥梁。

2. 协同学

1969 年联邦德国理论物理学家哈肯(1927～)创立协同学。在深入研究激光理论的过程中，哈肯发现在合作现象的背后隐藏着某种更为深刻的普遍规律，他提出的"协同学"就是"协同工作之学"的意思。令哈肯感到惊讶不已的问题是，自然界中的事物千姿万态和结构精微，结构的各个部分如此巧妙地在协同工作，这就不能不产生疑问"这些结构是怎样产生的，是什么力量在起着作用?"[②]协同学的基本思想就是：在无生命的物质界，也会从混沌中产生出组织良好的新型结构，并能在不断输入能量时维持这些结构；结构的形成服从普遍有效的规律性[②]。

哈肯就是从系统论与自组织理论出发，研究系统在外参量的驱动下和在子系统之间的相互作用下，以自组织的方式在宏观尺度上形成空间、时间或功能有序结构的条件、特点及其演化规律。所以，哈肯研究这一问题时，首先必须在方法论上反对还原论，他说：生物学要遵循物理学法则，这是对的；但是，把生物学归结于物理学，这便大谬不然了[③]。哈肯认为，由部分之间相互作用形成的整体，必定产生出不能还原为部分特性的整体效应，他坚持，必须"超出系统的部分特性来理解、掌握系统。"[②]这样，就可以在分析思维与整体思维，在微观世界与宏观世界的过程之间架起一座桥梁，沟通部分与整体之间的关系。

为此，协同学使用了几个基本概念：

---

① 恩格斯早就指出：自然界不仅是存在着，而且是生成着并消逝着. 见：马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971：367.

② 哈肯. 协同学——自然成功的奥秘. 上海：上海科学普及出版社，1988：前言.

③ 哈肯. 协同学——自然成功的奥秘. 上海：上海科学普及出版社，1988：6，7.

① 状态参量，它描述系统的状态。

② 序参量。状态参量随时间变化的快慢程度是不相同的，当系统逐渐接近于发生显著质变的临界点时，变化慢的状态参量的数目就会越来越少，有时甚至只有一个或少数几个。这些为数不多的、变化慢的参量就完全确定了系统的宏观行为并表征系统的有序化程度，故称之为序参量。

③ 支配原理。那些为数众多的变化快的状态参量就由序参量支配，并可绝热地将他们消去。这一结论称为支配原理，是协同学的基本原理。

④ 序参量的演化方程。序参量随时间变化所遵从的非线性方程称为序参量的演化方程，是协同学的基本方程。演化方程的主要形式有主方程、有效朗之万方程、福克-普朗克方程和广义京茨堡-朗道方程等。

协同学的主要内容就是用序参量的演化方程来研究协同系统的各种非平衡定态和不稳定性（又称非平衡相变）。它求解演化方程的方法主要是解析方法，即用数学解析方法求出序参量的精确的或近似的解析表达式和出现不稳定性的解析判别式。

协同学与耗散结构理论及一般系统论是相互联系、相互区别与相互补充的：一般系统论提出了有序性、目的性和系统稳定性之间的关系，但没有回答稳定性如何形成的具体机制；耗散结构论则从系统的开放性的角度回答了这个问题，指出与外部环境不断交换物质、能量与信息的条件下，非平衡态可成为有序之源；协同学虽然与耗散结构论同是来源于非平衡态系统有序结构的研究，但它摆脱了经典热力学的限制，从组成部分的相互作用进一步明确了系统稳定性和目的性的具体机制，协同学的概念和方法为建立系统学奠定了初步的基础。

3. 超循环论

1953年，米勒在试管里用原始大气的成分合成了氨基酸等有机大分子，但这些大分子又是怎样形成生命的呢？这是一个未解之谜。恩格斯曾经预言："生命的起源必然是通过化学途径实现的。"[①]超循环理论的创立，为大分子向原始生命的演化提出了科学的解释。

1971年西德生物学家艾根（1927～ ）等，在考察了生物化学中各种循环现象之后，提出超循环理论，它是关于非平衡态系统的自组织现象的理论，用以解释生命起源的机制。超循环理论认为，在从非生命向生命物质转化的过程中，从化学进化向生物进化的过程中，必然存在过渡阶段——分子自组织阶段，在这个阶段上，通过复杂的复合超循环的形式，实现蛋白质和核酸的相互合作，从而完成从非生命向生命物质转化的质的飞跃，促使生命信息的起源和进化。

① 马克思恩格斯全集(20卷). 北京：人民出版社，1971：79.

从化学分子到生命细胞是一个多步进化的过程，需要有等级层次的系统机制、特别是多层次循环耦合机制来保证，艾根根据循环的组织程度，将循环依次划分为以下三种：

① 反应循环。这是指一组相互关联的化学反应序列，其中任何一步的产物恰好是先前某一步的反应物。反应循环是较低级的组织形式。

② 催化循环。这是由多个反应循环相互联系形成的二级循环网络，催化循环的中间物不仅能够复原，而且还是自身反应的催化剂。催化循环是比反应循环高一级的组织形式。

③ 超循环。这是由催化循环在功能上耦合起来构成的化学反应循环，它通过催化功能把自复制单元或自催化单元连接起来，是循环的循环。在超循环中，复制单元不仅指导自身的复制，而且控制下一个复制单元的复制。这样，超循环就把循环与发展联系起来：大自然在循环中发展，在发展中循环。由于超循环是由多个循环相互嵌套结合而成的复杂循环，所以超循环并不是简单重复，它在维持两个或两个以上动态系统的循环圈中至少包括了一个“催化循环”，是比催化循环更高级的组织形式。

艾根的超循环理论和贝特朗菲、普利戈金及哈肯的等系统自组织理论的建立，深入地揭示了“系统”的“复杂性”的重要特征，如开放性、规模的巨型性、组分的异质性、结构的层次性、关系的非线性、行为的动态性、内外的不确定性等，把一般系统的研究推向复杂性系统的研究。艾根和他们的不同之处在于：他是从生物学的立场出发，寻找化学进化与生物进化之间的过渡环节，从而沟通了物理学与生物学，建立统一的科学世界图景。

12.3.3 非线性动力学——系统的动态理论

现代物理学、数学以及其他领域研究的新进展，发现以牛顿力学为基础的研究思想与研究方法——以线性叠加原理成立为前提。这个方法有很大的局限性，因为自然界的许多现象都是非线性的，于是非线性动力学也就由此产生。非线性动力学涉及许多学科，出现了一大类研究非线性问题的理论和方法，如“突变理论”、“混沌理论”、“分形理论”等，非线性动力学对复杂巨系统的突变、混沌、分形、孤立子等非线性现象进行研究，系统科学的发展对它产生了强有力的推动。

1. 突变理论

法国数学家雷内·托姆于1972年发表《结构稳定性和形态发生学》一书，开创了突变理论这门新兴学科。突变理论的出现被称之为“是牛顿和莱布尼茨发明微积分三百年以来数学上最大的革命”。“突变”是变化过程的间断或突然转换的意思。突变理论的主要特点是用形象而精确的数学模型来描述和预测事物的连续性

中断的过程。

在自然界和人类社会活动中，除了渐变的和连续光滑的变化现象外，还存在着大量的突然变化和跃迁现象，如水的沸腾、岩石的破裂、桥梁的崩塌、地震、细胞的分裂、生物的变异、人的休克、情绪的波动、战争、市场变化、经济危机，等等。突变理论试图用数学方程描述这种过程，研究从一种稳定组态跃迁到另一种稳定组态的现象和规律。

雷内·托姆研究的中心问题是：由系统参量的缓慢变化，如何导致系统状态或行为的突然变化？如何用现代数学语言表明渐变与突变之间的相互联系、相互依存与相互转化？他提出的数学方法是：系统所处的状态，可用一组参数描述；当系统处于稳定态时，标志该系统状态的某个函数就取唯一的值。当参数在某个范围内变化，该函数值有不止一个极值时，系统必然处于不稳定状态。雷内·托姆指出：随参数的变化，系统从一种稳定状态进入不稳定状态，又从不稳定状态进入另一种稳定状态，系统状态就发生了突变，突变论给出了系统状态的参数变化区域。

雷内·托姆的突变理论是形态发生学的一种理论，它原来是为了解释胚胎学中的成胚过程而提出来的，是为自然界中形态的发生和演化提供数学模型。突变理论的数学基础是奇点理论和分岔理论。突变理论的基本概念是结构稳定性，它反映同种生物物体在形态上千差万别中的相似性。它按结构稳定特征把生物形态分成各种静态模型。

利用突变论有可能预测系统的许多定性性态，甚至在不知道系统的描述采用什么样的微分方程，或者不知道怎样求解这些微分方程的情况下，也能获得结果。而且这种预测是在少数几个假设的基础上完成的。例如对于胚胎形成过程、心脏搏动、大脑机制、船舶稳定性等都曾用突变论建立过相当的数学模型，并取得一定的成效。

2. 混沌理论

1963年美国气象学家爱德华·诺顿·劳仑次提出混沌理论，认为：非线性动态系统具有的多样性和多尺度性。混沌是非线性动态系统从有序突然变为无序的一种状态，是这类系统通有的行为。混沌起因于系统不断以某种规则复制前一阶段的运动状态，从而产生的无法预测的随机效果。混沌理论就是研究非线性动态系统从确定性中出现的内在“随机过程”，以及它形成的途径与机制。

混沌理论认为：在混沌系统中尽管初始条件的变化十分微小，但经过不断放大，会对其未来状态造成极其巨大的差别。因而在非线性动态系统中，如人口移动、化学反应、气象变化、社会行为等，无法用单一的数据关系，而必须用整体的、连续的数据关系才能加以解释及预测。这样一来混沌理论就彻底否定了拉普拉斯决定论，根本改变了世界图景，导致了世界观的变革；加深与发展了对必然性与偶然

性的辩证关系的理解。混沌理论与量子力学同被列为20世纪最伟大的发现。量子力学质疑微观世界的物理因果律，而混沌理论则否定了宏观世界拉普拉斯的决定性因果律。

混沌理论对必然性与偶然性的辩证关系，产生了新的认识。这就是：

① 过去人们把偶然性说成是无足轻重的，忽视了它在事物发展过程中的作用。在混沌系统中，偶然性不仅起着非常重要的作用，而且它的作用的后果往往是超出人们所预想的。

② 过去人们认为：偶然性是必然性的表现形式，偶然性中蕴涵着必然性，必然性来自偶然性。在混沌系统中，从决定性中出现内在的随机性，必然性中蕴涵着偶然性，偶然性来自必然性。

③ 过去人们认为：必然性通过偶然性为自己开辟道路。而在通往混沌的道路上，总是先有周期振荡，然后出现混沌。即是通过有序进到无序，进到混沌。这表明，在混沌现象中必然性为偶然性开辟道路。

混沌理论是系统从有序突然变为无序状态的一种动态理论，它研究的对象、任务与方法是针对非线性动态系统的行为的，因而大大地丰富了系统理论。

3. 分形理论

分形理论既是非线性科学的前沿和重要分支，又是一门新兴的横断学科。众所周知，欧几里得几何学把研究对象想象成一个个规则的形体，而自然界许许多多真实的图形竟是如此不规则和支离破碎，它们与欧几里得几何图形相比，具有完全不同层次的复杂性。于是在欧几里得几何学无能为力的领域，分形理论脱颖而出。它的研究对象是自然界和非线性系统中出现的不光滑和不规则的几何形体，这些几何形体存在着内在的规律和特性：自相似性、层次性、递归性、仿射变换不变性。它的数学基础是分形几何。

分形的概念是美籍数学家曼德布罗特首先提出的。什么是分形？分形是对没有特征长度但具有一定意义下的自相似图形和结构的总称。“分形”一词译于英文“Fractal”，具有“破碎”和“不规则”两个含义。

分维是分形的定量表征和基本参数，又称为分形维或分数维，通常用分数或带小数点的数表示。长期以来人们习惯于将点、线、面、空间分别定义为零维、一维、二维、三维。爱因斯坦在相对论中引入时间维，形成四维时空。对某一问题从多方面多视角来考虑，可建立高维空间，但都是整数维。在数学上，把欧氏空间的几何对象连续地拉伸、压缩、扭曲，它的维数不变，这就是拓扑维数。然而，这种传统的维数观受到了分形理论的挑战。

自相似原则和迭代生成原则是分形理论的重要原则。它表征分形在通常的几何变换下具有不变性，即标度无关性。由自相似性是从不同尺度的对称出发，也就

意味着递归。分形形体中的自相似性可以是完全相同，也可以是统计意义上的相似。标准的自相似分形是数学上的抽象，迭代生成无限精细的结构，如科契雪花曲线、谢尔宾斯基地毯曲线等。这种有规分形只是少数，绝大部分分形是统计意义上的无规分形。

分形理论本质上是一种新的世界观和方法论，它与非线性动力系统的混沌理论结合，相辅相成；它承认世界的局部有可能在一定条件下，在发展过程中，在某一方面（形态、结构、信息、功能、时间、能量等）表现出与整体的相似性；它承认空间维数的变化既可以是离散的也可以是连续的。

分形理论作为一种方法论和认识论，其启示是多方面的：一是分形整体与局部形态的相似，启发人们通过认识部分来认识整体，从有限中认识无限；二是分形揭示了介于整体与部分、有序与无序、复杂与简单之间的新形态、新秩序；三是分形从一特定层面揭示了世界普遍联系和统一的图景。

12.4　钱学森独创的系统科学研究方向

钱学森在系统科学的研究中与国内外同行相比有他独特的优势：第一，他坚持马克思主义哲学的指导；第二，他有深厚的自然科学功底；第三，他有丰富的工程实践经验；第四，尤为重要的是他有惊人的创造力，预见到系统科学的创建标志着科学技术发展史上科学整体化研究方向时期的到来。

近代自然科学的发展，以牛顿力学为基础开创了人类认识自然、改造自然的新篇章，把人类推向科学文明的新时代；与此同时，由它形成的机械论与还原论的观点方法一直在自然科学后来的发展中占据统治地位。19 世纪自然科学的新进展，特别是能量、细胞与进化论的发现，对机械论与还原论的观点与方法产生了猛烈的冲击。

进入 20 世纪，随着科学的进步，先是贝特朗菲，接着是维纳等明白觉察到：科学从分门别类的研究向系统整体的综合研究的趋势正在出现，科学发展的新观点与新方法形成的时期已经到来。信息论创建者之一韦弗于 1948 年明确指出：20 世纪以前的科学主要研究简单性，20 世纪的科学转向研究复杂性。现在看来，韦弗的思想包含着极为深刻的思想，即：近代自然科学主要是分门别类地研究，其对象主要是封闭的、简单的、线性的平衡系统，是简单性的研究；现代自然科学则转向综合地对系统的整体进行研究，其对象是开放的、复杂的、非线性的动态系统，是复杂性的研究。

钱学森回国之初，由于事关国家民族命运的迫切需要，他把全部精力投身于祖国的航天事业，离开了世界科学发展的前沿问题——现代科学技术中兴起的复杂性问题研究。但是从另一方面看来，航天科学技术却是具有代表性的现代科学技

术，它有其独特的综合性与复杂性，这也就为钱学森提供了一条认识现代科学技术综合化和整体化发展的趋势、进而从简单性研究转向复杂性研究的道路。这就不难了解，20 世纪 70 年代末钱学森从科研一线领导岗位退下来以后，就把自己的全部精力投入到创建现代科学技术体系结构、创建系统科学的体系结构等前沿问题的研究上。

钱学森从马克思主义的系统思想、现代科学的系统观点出发，把现代科学技术看成是一个相互联系、相互作用的有机整体。他认为，现代科学技术之所以不同于以往的科学技术的地方就在于：它是从总体上、不同的角度来认识世界、改造世界的；而不是分门别类地、孤立地对客观世界进行研究的。现代科学技术突出的特点表现在以下方面：

（1）现代科学技术的体系结构

钱学森是战略科学家，他从现代科学技术的综合化、整体化趋势认识到：只有使全部现代科学技术建构成为一个有结构、有层次、开放的有机系统，才能充分发挥它在认识世界与改造世界中的作用。钱学森之所以花大力气建构这个体系，就是力图根据它来思考中国科学技术的发展方向与整体布局。他认为，这是他的历史使命。1991 年 10 月钱学森在中共中央、国务院授予他“国家杰出贡献科学家”授奖会上的讲话中说：我在今后的余生中就想促进这件事情。这表明创建现代科学技术体系在钱学森心目中的重要地位，它绝不是纯粹学术问题而是同现代科学技术的发展、同中国现代化建设密切相关的战略问题。

（2）现代科学技术的研究对象

钱学森是系统科学家，他认为，现代科学技术研究的对象是开放的复杂巨系统，它的主要特点如下：

① 开放的。系统与它周围的环境有物质交换、能量交换和信息交换。经典科学研究的对象是封闭的，它与它周围的环境没有这些交换。

② 巨大的。系统所包含的子系统成千上万，甚至上亿万，所以是“巨系统”。

③ 复杂的。系统所包含的子系统的种类繁多，有几十、上百，甚至几百种。经典科学研究的系统是简单的，子系统的种类不多。

④ 有层次的。系统结构包含若干层次。如果只有一个层次，从整系统到子系统只有一步，在这种情况下，经典科学的还原论方法还是适用的。

（3）现代科学技术研究的方法

科学研究对象决定科学研究方法，现代科学技术研究的方法是从定性到定量的综合集成法，它的特点是人-机结合、以人为主，充分利用计算机处理信息的能力，发挥人特有的智慧，实现信息与知识的综合集成。通过人机交互、反复对比、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，从而能对经验性假设的正确性做出明确的结论。经典科学的研究方法是：由科学理论、经验知识和专家的创造力相结合，提出

假设,然后用数学演算、逻辑推理和进行实验来证明假设是否正确。但在研究复杂巨系统时,它便远远不够了。

（4）建立开放的复杂巨系统理论的途径

钱学森提出:要以马克思主义哲学指导;要从一个个具体的开放复杂巨系统入手;要用思维科学的成果。

参考文献

贝特朗菲.普通一般系统论的历史和现状.国外社会科学,1978.

贝特朗菲.一般系统论:基础,发展和应用.北京:清华大学出版社,1987.

哈肯.协同学——自然成功的奥秘.上海:上海科学普及出版社,1988.

列宁全集.北京:人民出版社,1959.

马克思.资本论.北京:人民出版社,1972.

马克思恩格斯全集(20卷).北京:人民出版社,1971.

马克思恩格斯全集(23卷).北京:人民出版社,1972.

马克思恩格斯选集(4卷). 北京:人民出版社,1977.

钱学森,等.论系统工程.上海:上海交通大学出版社,2007.

钱学森.创建系统学.上海:上海交通大学出版社,2007.

第十三章　人工智能的基础科学——思维科学

自古以来，智能一直是哲学关注的问题，所谓哲学其古希腊字源是“爱智”之意。近代以后，西方哲学从本体论向认识论转变，与此同时智能在认识论上与哲学保持密切联系，著名的培根经验论的认识论与方法论，和笛卡尔唯理论的认识论与方法论，把人类的智能、人类认识自然界的能力从哲学思辨推向科学研究。

13.1　思维科学产生的历史条件

顾名思义，人工智能是指各种“人造系统的智能”。其中，用计算机模拟人类逻辑思维功能是人工智能的一个重要的研究方向。本书讨论的人工智能主要是指这类人工智能。计算机的发明是划时代的，它是智力劳动的工具，它的产生带来了生产力的革命，更直接地关乎人类的本质特征——智能。

人工智能不同于自然科学，后者研究的对象是物质的运动形式与运动规律，人工智能不但要研究“脑物质本身的运动规律”，而且要研究“脑这种客观物质如何产生出主观精神”，尤其要研究怎样才能把这种“物质产生精神的机理”以及“精神反作用于物质的机理”在人造系统复现出来。毫无疑问，人工智能研究更加深刻，更加困难，也更加有意义，它必将引起一场改变人类命运的科学革命。

13.1.1　人工智能的基础理论——数理逻辑

计算机智能研究发源于用计算机来模拟人在计算过程中的逻辑思维。英国数学家、逻辑学家图灵（1912～1954年）在“论数字计算在决断难题中的应用”（1936年）一文中，首次给出了“可计算性”严格的数学定义，这是数学的一个基础性理论问题。图灵根据“可计算性”的定义，提出了著名的“图灵机”的设想，即：用机器来模拟人们用纸笔进行数学运算的过程。这篇论文以计算过程为模型，用数理逻辑研究思维过程，为人工智能的研究开辟了道路。

1950年，图灵又发表了题为“机器能思维吗?”的论文，这是一篇划时代之作，它为图灵赢得了“人工智能之父”的桂冠。在这篇论文里，图灵第一次提出“机器思维”的概念，他逐条反驳了机器不能思维的论调，并做出了机器能思维的肯定回答。图灵还从行为主义的角度对“智能”给出了定义，并据此提出一个设想，即一个人在不接触对方的情况下，通过一种特殊的方式，和对方进行一系列的问答，如果在相当长时间内，他无法根据这些问题判断对方是人还是计算机，那么，就可以认为这

个计算机具有同人相当的智力，即这台计算机是能思维的。这就是著名的“图灵测试”(Turing testing)，它是判断人工智能的重要标准。从图灵的研究开始，数理逻辑成为研究人工智能的一门基础学科。

在逻辑发展史上，数理逻辑是用数学语言和数学方法来研究逻辑，它把数学语言和数学思维联系起来，从而把语言、逻辑与计算机联系起来，开创了人工智能研究形式化的方向与道路，成为人工智能研究的基础学科，它的发展经过了两百多年。

17 世纪数理逻辑创始人莱布尼兹(1646～1716 年)就提出了数学、逻辑学与语言学三者相结合的思想，他认为，为了推动哲学与科学的发展，必须寻求一种获得知识和创造发明的普遍方法，为此他力图建立一门崭新的逻辑，特点是：

① 它是一种“普遍的符号语言”，它的符号如同数学符号一样表达概念。

② 这种“普遍的符号语言”如同形式逻辑的推理一样，是一个“思维的演算”。

③ 制造出机器来执行这些计算。

19 世纪有两位逻辑学家将莱布尼兹的逻辑思想奠定在数学的基础上，开始了数理逻辑的发展。一位是布尔(1815～1864 年)，他沿着莱布尼兹的方向提出了逻辑的代数语言，证明了逻辑演算可以成为数学的一个分支——布尔代数。另一位是弗莱格(1848～1925 年)，他沿着莱布尼兹的方向前进了一大步。弗莱格为数学、逻辑学与语言学的结合作出了奠基性的贡献，主要如下：

① 他建立了一种符号语言，把语言、逻辑与数学紧密地结合起来，从而保证了推理过程的绝对严格性。

② 他把数学归结为逻辑，从纯逻辑的规律出发证明算术定理。

③ 他提出了语言哲学研究的基本原则：应该把语言中心理的东西和逻辑的东西区别开来；必须在语言的实际应用中，在语句的语境中，掌握词的准确意义；必须区分对象与概念，必须把语句作为语言的基本的意义单位。

④ 他在逻辑学发展史上第一次提出了一个完备的命题演算和一阶谓词演算。

20 世纪有两位学者把逻辑形式化(符号化)的方向推向前进。一位是数理逻辑学家，分析哲学的主要创始人罗素(1872～1970 年)，他继承与发展了弗莱格的研究，与怀特海合著《数学原理》(1910、1913 年)，把逻辑的形式化推向了一个新的发展阶段，他们的主要贡献是：

① 建立了一个完全的命题演算和谓词演算，一般称之为标准逻辑。

② 建立了一个完全的关系理论，丰富了逻辑学的原理。

③ 提出了“数学就是逻辑”的观点。但是，从罗素与怀特海合著的《数学原理》中，单纯从逻辑推不出数学，还必须增加两条非逻辑公理，即无穷公理和乘法公理。

④ 提出了在数学、逻辑学与语言学的结合中出现集合论悖论，并提出了解决悖论的方案——类型论，其中的关键是区分了对象语言与元语言。

另一位是20世纪最伟大的数学家之一希尔伯特(1862～1943年),在数学基础问题的论战中,为了保卫古典数学,避免悖论,大约于1922年提出希尔伯特计划,这是论证数论、集合论与数学分析协调性的方案。

希尔伯特计划的基本思想是:从若干形式公理出发将数学形式化为符号语言系统,并从不假定实无穷的有穷构造观点出发,建立相应的逻辑系统。然后研究这个形式语言系统的逻辑性质。

希尔伯特计划的目的是:试图对形式语言系统的协调性给出绝对的证明,以克服悖论所引起的危机。

希尔伯特计划的基本方法是:采用的公理化与形式化的方法对古典数学进行逻辑研究,其步骤如下:

① 古典数学。用公理化方法把古典数学整理为公理系统,它包括:出发点,原始概念与公理;演绎规则,下定义规则与逻辑推理规则;系统的内容,通过演绎规则引申出来的被定义的概念与被证明的定理。

② 形式系统。用形式化方法将公理系统用形式语言写出来。形式语言包括:初始符号;形成规则;公理集;变形规则;把(有内容的)公理系统变成(无内容的)形式系统。

③ 元数学(亦称证明论)。研究形式系统的协调性。为此需要用到逻辑和数论,希尔伯特采用有穷的构造方法,以避免循环论证。

上述过程中的三个系统(古典数学、形式系统与元数学)彼此之间是既互相区别又互相联系的。

数理逻辑家哥德尔(1906～1978年)进一步研究希尔伯特计划,试图用有穷的构造方法证明数学形式系统的协调性问题(主要是关于算术、分析和集合论等系统的协调性问题)。1931年哥德尔证明了:在包含初等算术(或集合论)的无矛盾的形式系统中,系统的无矛盾性在系统内是不可证明的。这个研究结果的严格表述如下:

第一个不完备性定理。设S是包含初等数论的形式系统,如果S是相容的,那么它就是不完全的,即存在命题F使得F和$\neg$F都在S中不可证。

第二个不完备性定理。设S是包含初等数论的形式系统,如果S是相容的,那么它的相容性在S内不可证。

这实际上是证明了:任何形式系统只要是相容的,它的相容性不可能在系统自身内得到证明,必须在一个更强的系统内才能得到解决。

哥德尔的不完备性定理,将希尔伯特计划、从而将逻辑形式化的方向推向更深入发展的阶段,它不仅使数学、逻辑学发生革命性的变化,引发了许多富有挑战性的问题。在人工智能领域,哥德尔不完全性定理是否适用也成了讨论的焦点。

两百多年数理逻辑的发展,以及进入20世纪后它在计算机研制中的基础理论

地位，使得逻辑形式化(符号化)成为人工智能研究的方向，也就是符号主义方向。在符号主义、连接主义与行为主义三大学派中它长期一枝独秀，为人工智能的发展作出重要贡献，迄今仍然是人工智能研究的主流派别，这就不难理解为什么它的主要代表人物之一西蒙认为：计算机是符号系统①。

13.1.2　人工智能的技术理论——理论计算机科学

20 世纪最杰出的数学家之一冯·诺依曼(1903～1957 年)，意识到了电子计算机研制的深远意义，亲自参加了这项工作。他以其敏锐的眼光，抓住了计算机的灵魂——计算机的逻辑结构问题，于 1945 年发表了一个全新的《存储程序通用电子计算机方案》(简称为 EDVAC，是“离散变量自动电子计算机”的英文缩写)，紧接着在 1946 年，又在 EDVAC 方案的基础上，提出了一个更加完善的设计报告《电子计算机逻辑设计初探》。这两份文件提出了著名的“冯·诺依曼机”的综合设计思想：一是二进制；二是程序内存。这一卓越的思想为电子计算机的逻辑结构设计奠定了基础，成为计算机设计的基本原则，从此计算机的发展迈入了一个新的时代。由于冯·诺依曼在计算机逻辑结构设计上的伟大贡献，他被誉为“计算机之父”。

1946 年发明世界第一台电子计算机后，在计算机技术迅速发展的基础上，兴起了一门独立的技术科学——计算机科学，它是一门包含各种各样与计算和信息处理相关的系统学科，因而可以说计算机科学是一门研究信息处理的技术科学。计算机科学的大部分研究是基于冯·诺依曼计算机和图灵机的，它们是绝大多数实际机器的计算模型。

理论计算机科学的基础是邱奇-图灵论题(Church-Turing thesis)：尽管各种计算模型在计算的时间、空间效率上可能有所差异，但现有的各种计算设备在计算的能力上是等同的。理论计算机科学可以看作是计算机科学的数学基础，它研究的主要课题是：

可计算性理论，(又名递归函数论)研究计算机程序能做什么和不能做什么；

算法和复杂性理论，研究如何使程序更高效地执行特定任务；

数据结构和数据库，研究程序如何存取不同类型的数据；

软件工程，研究它的形式化和自动化；

人工智能，研究程序如何更具有智能；

人机互动和人机界面，研究人类如何与程序沟通。

它们形成了自动机论、形式语言理论、程序设计理论、算法设计与算法分析、计算复杂性理论等领域。

---

① 西蒙. 关于人为事物的科学. 北京：解放军出版社，1987：29.

13.1.3 人工智能的工程技术——实验计算机科学

在计算机硬件和软件发展的基础上，在 1956 年 Dartmouth 研讨会上，美国一些从事数学、心理学、信息论、计算机和神经学的年轻学者，集中讨论了计算机能够做什么和不能够做什么的问题，提出了用电子计算机模拟人类智能的研究方向，在会上首次使用了“人工智能”(artificial intelligence)一词。这是人类历史上第一次人工智能研讨会，标志着人工智能学科的诞生。智能的核心是思维，是在感性认识基础上的理性认识，人的一切智慧或智能都来自大脑的思维活动。当前人工智能主要研究的领域有：

(1) 模式识别(pattern recognition)

辩证唯物论的认识论认为，一切认识起源于在实践基础上产生的感觉，因此为计算机配置各种感觉器官，以便直接接受外界的各种信息，这是人工智能研究的先决条件，也是人工智能最早的研究领域之一。模式识别是解决感性认识的问题的，目前它主要集中研究以下两个方面：图形识别(及其延伸物景分析)和语音识别。

(2) 自然语言理解(natural language understanding)

人的认识活动离不开语言，而且人对于某一类问题进行思考和探索解法时，总是需要以有关这一类问题的基本知识(专业知识)作为出发点，因而知识表示和机器对自然语言的理解就构成人工智能的两个重要领域。所谓知识表示，是指将原来用自然语言表示的知识转换成用符号语言表示，从而可以储存在机器内供机器使用的知识。所谓自然语言理解，是研究计算机如何理解自然语言，使得计算机具有对自然语言的分析能力和生成能力。由于自然语言具有多义性，因而在人机对话过程中常常发生理解模糊的问题(主要是语音模糊、语义模糊)，为了避免“多义选一”，必须使用经过严格定义的人工语言，它一般要经过形式化、算法化与程序化三个步骤。

(3) 知识工程(knowledge base engineering)

人们总是利用已有的知识来解决问题，知识工程就是在计算机上建立专家系统的工程技术，它是 20 世纪 70 年代中期美国人工智能专家费根鲍姆在专家系统的基础上提出的，所以也称为知识处理学。知识工程的基本问题包括知识的获取、知识的表示以及知识的处理和运用三个方面：

① 知识的获取。主要的方法是：对专家或专业知识的理解、认识、选择、分析、分类与提取等。

② 知识的表示。主要的方法是：将获取的知识整理成逻辑系统，将逻辑系统形式化，通过编码输入到计算机中去。

③ 知识的处理和运用。在知识的获取与知识的表示的基础上：首先是知识的处理，它的方法主要包括推理、搜索、知识的管理及维护、匹配和识别；然后是知识

的运用，如设计机器、建造水坝、推断未来、探索未知、管理社会，乃至运用知识来作曲、绘画或写文章等。

13.1.4　人工智能与人类智能的差别

人的智能的核心是思维能力，它表现在“发现问题、获取知识和运用知识解决问题的能力”。因此，智能与思维是密不可分的。由于现代科学技术革命，特别是信息革命与电子计算机的发明，钱学森富有远见地提出，它将预示着一场重大的变革——思维科学的出现[①]。

如前所述，数理逻辑是计算机的理论基础，它确立了计算（逻辑思维）与计算机智能（人工智能）的形式结构关系。数理逻辑的一个结论是：所有用数理逻辑可以解决的问题，电子计算机都能解答。这就提出一个十分重大的课题：能否用电子计算机来模拟人类智能？

1981 年 10 月，日本首先向世界宣告开始研制第五代计算机即“智能计算机”，它能进行数值计算与处理一般的信息，主要是能面向知识处理，具有形式化推理、联想、学习和解释的能力，能够帮助人们进行判断、决策、开拓未知领域和获得新的知识。人机之间可以直接通过自然语言或图形图像交换信息。此后，计算机智能在专家系统、自学习、并行处理、启发式搜索、机器学习、智能决策等人工智能技术方面取得了令人鼓舞的进展。

但是，1997 年 5 月，深蓝智能计算机与国际象棋大师卡斯帕罗夫比赛，在 6 局中以 2 胜 1 负 3 平获胜；2003 年 1 月 26 日～2 月 7 日，比深蓝更强大的“小深”与国际象棋大师卡斯帕罗夫比赛，在 6 局中以 1 胜 1 负 4 平的结果握手言和。这两大事件表明，人工智能与人类智能之间还有很大的差距。

问题的关键在于：人脑是人的智能之所在。目前，借助计算机科学、语言学和信息论的概念，来研究人的认识过程和智能行为的认知心理学起步很晚；研究人脑的神经解剖学与神经生理学也是刚起步不久。此外，人工智能的研究涉及多种学科，除了认知科学、神经解剖学、神经生理学和心理学外，还要有语言学、数理语言学、文字学、科学方法论、形式逻辑、辩证逻辑、数理逻辑、算法论等。这个研究范围要比数理逻辑广得多，可以称之为思维科学，这是现代科学技术体系的一个重大改组[②]。由此可见，用人工智能模拟人类智能还要有一段很长的路要走。人类已经发明和使用过机械工具、动力工具，现在又出现了信息处理工具和智能工具。过往的经验告诉我们，尽管工具的某些性能指标大大地超过了人，但它终归是由人设计制造的、为人所用的，它提高的是人类的各种能力。人类是一切工具的最终控制者

① 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：121.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：123.

和受益者。

从根本上说，人工智能与人类智能的差别在于：人类是有生命有目的的系统，因此他能够自主地发现问题、认识问题和解决问题；人工智能是无生命无目的的系统，因此没有自主发现问题的能力，只能在系统设计者给定问题和知识的条件下去认识和解决问题。

13.2 思维科学体系结构的创建

13.2.1 思维科学的范围

现代科学技术革命特别是计算机与人工智能的研究，为思维科学的创立与研究提供了广阔而深厚的科学技术基础与无限发展的前景。钱学森在马克思主义哲学指导下，以他深厚的理论知识和丰富的实践经验，应对科学转向时期的需要，创建思维科学的体系结构，创造性地指明了思维科学研究的方向与道路。钱学森认为，思维科学应该包括以下两个方面：

首先是思维科学(cognitive science)。国外称之为认知科学，实际上它研究的对象是人的思维，人的思维的作用，人认识客观世界时脑子的工作①，因为认知的关键是思维。思维科学与人体科学不同，它研究的是人的有意识的思维，即人自己能加以控制的思维，而人体科学研究的是人的下意识，这是心理学的对象②。

其次是思维科学的基础科学。它包括两门：

一门是思维学，从人的认识过程来看，它包括下列三个部分：

① 抽象(逻辑)思维。数学家把它数学化了，叫数理逻辑，它是微观法。

② 形象(直感)思维。科学史上有重大发明创造的科学家和一般科学家的区别就在于他们有形象(直感)思维，它是宏观法。

③ 灵感(顿悟)思维，英文是 inspiration。灵感是长期思索过程中的顿悟，它的意思是突然发现，是创造性思维，是智慧的泉源，创造性思维是微观法与宏观法结合。

思维学就是研究这几种思维的规律的。

再一门是信息学。思维无非是处理信息，信息是人跟外界接触所产生的，因此信息学也是思维科学的基础科学。

在上述基本思想指引下，钱学森于 1979 年提出：要用现代科学技术研究思维，建立一门思维科学，他的研究纲领如下。

---

① 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：63.

② 钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007：132.

思维科学研究的目的：为人工智能的发展、智能机的研制提供理论基础。

思维科学研究的对象：人是怎样通过思维认识客观世界的，人的思维有什么规律？

思维科学研究的方法：已有的方法是逻辑学方法、心理学方法、脑科学方法、计算机模拟人脑的方法。钱学森提出还有一个方法，就是首先要建立思维科学的基础科学——思维学与信息学，从宏观来寻找人的思维规律，并同人工智能、智能机的研究工作结合起来。

思维科学的基础科学：思维学——形象思维学、抽象思维学（形式逻辑与辩证逻辑）与创造性思维学；信息学，它研究如何加工信息。

（1）关于思维学

钱学森指出它包括逻辑思维、形象思维与创造性思维。在这三个部门中，人类对逻辑思维研究得最早、最充分，比较成熟，找到了一些规律，至于形象思维与创造性思维还有待研究。20 世纪初的科学革命把传统形式逻辑发展为数理逻辑，它成为计算机和人工智能的理论基础：只要能够用数理逻辑形式化的抽象思维，计算机都可以模拟，并且计算速度比人脑的运算速度快得多。但是钱学森认为，对于人工智能来说这还是远远不够的，因为：一是即使在逻辑思维中，数理逻辑虽然十分重要，并且取得了丰硕的成果，但它只是逻辑思维中的一个部分；除了数理逻辑外，还有辩证逻辑；二是在逻辑思维之外，还有形象思维与创造性思维。形象思维在人类认识的发展史上早于逻辑思维，当前人工智能所面临的主要难题就是以形象识别为基础的形象信息的加工处理问题，因而形象思维学的建立是思维科学研究的突破口。

（2）关于信息学

信息学与思维学有着密切的联系，主要表现在：一方面，思维学是关于人脑对信息处理的研究，它从信息加工的角度来研究思维，它的任务是研究如何处理从客观世界获得信息，以便获得改造客观世界的知识。另一方面，我国著名学者钟义信在他的专著《信息科学原理》中，对信息学作出了极为深刻的论述，他认为，信息学是“研究信息及其运动规律的科学。”他从马克思主义认识论的观点出发，提出以下论点①：

首先，信息是普遍存在的，无论自然界与人类社会，抑或人的思维，都存在信息。

其次，从马克思主义哲学的观点看：本体论意义的信息，是事物运动的状态和状态改变的方式；认识论意义的信息，是认识主体所感知或所表述的事物运动的状态和方式。

---

① 钟义信. 信息科学原理. 北京：北京邮电大学出版社，1996：3～12.

再次,认识过程就是信息的变换过程。它经过如下的几个环节①:

信息的产生,从认识的对象产生本体论意义的信息;

信息的获取,从本体论意义的信息转变为认识论意义的信息;

信息的加工,它的结果是关于认识对象的科学理论,使得人们能够从理论上、从思维的逻辑系统中,整体地、动态地把握认识的对象的运动状态和方式;

信息的运用,运用所得的科学理论去改变认识的对象的运动状态和方式。

总的看来,"信息-知识-智能"的变换过程,就是认识的深化过程,也就是信息的加工与处理过程,它经过以下几个不同的认识层次:

资料,这是一系列相互没有联系的事实和看法;

信息,由资料变成信息要经过逻辑加工,成为一个有逻辑联系的系统;

知识,这是有联系的、组织好的信息;

智能,这是利用信息与知识来解决问题的一种能力。

进行"信息-知识-智能"的变换是知识工程的任务。

13.2.2 思维科学的体系结构

当代许多著名科学家认为,21 世纪的科学将朝复杂性科学发展,复杂性问题的主要研究对象是开放复杂巨系统,而三百多年来形成的经典科学基本上是简单性科学。由 20 世纪科学技术革命推动的、从简单性科学向复杂性科学的转变,是科学发展史上又一场伟大的、有长远影响的转变,它在广度与深度上必将更深刻地影响人们的世界观、认识论、方法论与价值论,必将对科学技术发展带来极为深刻的变革,从而影响人类的命运与前途。复杂性科学与简单性科学之间既有区别,但又是互相联系的,这主要表现在:前者是在后者的基础上产生与发展起来的,前者的特征是对后者的特征的辩证否定。二者的区别与联系可大致概括为表 13-1。

表 13-1

简单性科学	封闭性	还原论	线性相互作用	他组织
复杂性科学	开放性	涌现论	非线性相互作用	自组织

钱学森正是根据科学技术发展史上第二次转变的新形势,提出创建思维科学的宏伟任务,并按照认识发展过程,划分出下列三种既互相区别、又互相联系的思维形形式:

形象(直感)思维-抽象(逻辑)思维-灵感(顿悟)思维

作为人工智能的理论基础的思维科学,是现代科学技术的一个大部门,它的研究范围包括上述三种思维形式,而思维科学的技术科学则是根据思维学与信息学

---

① 钟义信. 信息科学原理. 北京:北京邮电大学出版社,1996:5.

的原理，为人工智能技术提供理论基础。按照现代科学技术体系结构的横向划分，按照从工程实践到基础理论的认识过程，可以把思维科学的体系结构安排如表 13-2所示。

表 13-2

马克思主义哲学	桥梁	基础科学	技术科学	工程技术
	辩证唯物主义认识论	思维学： 抽象思维 形象思维 创造性思维	科学方法论	智能机的研制
			情报学	
			数理语言学	计算机模拟技术
		信息学	结构语言学	文字学
			模式识别	情报资料库技术
			知识系统学	计算机软件技术
				密码技术

13.3　思维科学研究的基本问题

13.3.1　逻辑思维的问题

关于逻辑思维，钱学森指出：在思维科学史上，形式逻辑发展得很深了，数学家把它数学化了，创立一门很大的学问，叫数理逻辑。但形式逻辑以及发展了的数理逻辑并不是人们认识客观世界的唯一方法[①]。鉴于此，钱学森创造性地提出：在解决复杂性问题如人工智能问题时，要突破过去一直走的（也不得不那么走的）逻辑思维的框框[②]。

从科学技术发展史看来，数理逻辑是在简单性科学的基础上形成与发展起来的，它是简单性科学的语言、逻辑与方法。当前科学技术发展正处在从简单性科学向复杂性科学转变的历史时期，为了适应研究复杂性问题的需要，有必要在数理逻辑的基础上构建数理辩证逻辑。

20 世纪初数理逻辑的发展，基本上是在不改动数理逻辑的理论框架的基础上，增添新的算子以及相应的公理和规则而形成与发展起来的。如：

模态逻辑，增添“可能”与“必然”等算子；

时态逻辑，增添“过去是”、“现在是”与“将来是”等算子；

---

① 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：63.

② 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：401.

道义逻辑，增添“应该”、“允许”等算子；

选择逻辑，增添“宁愿”等算子。

恩格斯早就指出：直到 1830 年以前，形式逻辑还是适用的，因为当时的科学“还没有超出力学——地球上的和宇宙的力学的范围。”[①]1930 年以后，一系列自然科学的最新成果，特别是三大发现（细胞、能的转化与进化论），证明了各种自然力的统一性及其相互转化，这种相互转化把形式逻辑中坚持的一切固定性都结束了。特别是 19 世纪末以后，自然科学发生了从简单性科学向复杂性科学的革命性变革，迫使新创建的数理逻辑根据不同方面的需要引入辩证法，从而推动了数理逻辑的变革。这些变革预示了逻辑学发展的新方向与新途径：

（1）多值性方向——模糊逻辑

在人工智能研究中，要使计算机能模仿人脑接受和处理模糊信息，以便提高计算机的“灵活性”。维纳从自动控制的角度出发认为，人脑之所以优于计算机主要在于：它“能够掌握尚未完全明确的含糊观念。”模糊逻辑的产生正是适应计算机设计的要求，把数理逻辑的论域，即精确的、离散的二元集合{0，1}，修改为模糊的、连续的实区间[0，1]，并把集合的特征函数推广为隶属函数，从而把精确命题变为模糊命题，由此进行模糊推理，为自然科学从精确性到模糊性、从确定性到不确定性的研究提供了科学研究的逻辑、语言与方法。

（2）多维性方向——多维逻辑

在进化论中动物之间的界线不再是固定不变的；在量子力学中微观粒子的“波粒二象性”等，使得绝对分明的和固定不变的“非真即假”、“非此即彼”的排中律失效了，科学的发展证明了辩证思维方式是最高度地适合现代科学发展的思维方法。正是在回答科学发展中的新问题，数理逻辑的值域不得不从二值到三值，三值到多值，多值到欧几里得空间，欧几里得空间到希尔伯特空间。

（3）信息不完全方向——归纳逻辑

世界是复杂多变的，人们在认识过程中所获得的信息总是不完全的，归纳推理就是从不完全的信息进行的推理，因而他的结论是或然的；数理逻辑研究的是演绎推理，它的结论是必然的。在人工智能研究中，与归纳逻辑密切相关的诸如机器学习与不确定性推理等问题，就要求在数理逻辑中引入归纳逻辑，目前的一个研究方向是把归纳推理的“证据支持”概念形式化、概率化，这成为概率逻辑研究的一个热点。

（4）在数理逻辑基础上建立数理辩证逻辑

在上述变革的推动下，20 世纪 60 年代由于以自组织理论为核心的复杂性科学蓬蓬勃勃发展，适应研究复杂性问题的需要，在数理逻辑的基础上建立数理辩证

---

① 马克思恩格斯全集(20 卷). 北京：人民出版社，1971：545.

逻辑，就成为现代科学技术转变时期逻辑学发展的方向与道路。

我国著名学者何华灿在他的专著《泛逻辑学原理》中提出“柔性逻辑学”，它包容一切灵活的、开放的自适应的逻辑形态和推理模式[①]。他所说的“柔性”是相对于数理逻辑的“刚性”而言的。众所周知，数理逻辑的命题与推理是精确的、确定的，它很不灵活，缺少柔性。因而从刚性逻辑到柔性逻辑实际上就是从数理逻辑到数理辩证逻辑。何华灿教授创建的“泛逻辑学”，就是把“刚性逻辑学”作为内核的“柔性逻辑学”，它是“研究刚性逻辑学和柔性逻辑学共同规律的逻辑学”[②]，是在数理逻辑的基础上发展起来的，因此可以称之为数理辩证逻辑。

13.3.2　形象思维的问题

形象思维是反映和认识世界的重要思维形式，在艺术中它的历史久远，而以文字为基础的逻辑思维的历史则相对较短。形象思维是思维主体以形象信息的传递、感知、储存和识别为基础，用一定的手段和工具（包括文学语言、绘画线条色彩、音响节奏旋律等）创造和描述形象（包括艺术形象和科学形象）的一种思维形式。从信息加工角度说，形象思维可以理解为主体运用表象、直感、想象等形式，对研究对象的有关形象信息，以及贮存在大脑里的形象信息进行加工（分析、比较、整合、转化等），从而从形象上认识和把握研究对象的本质和规律。形象思维的过程如下：

形象感知→形象储存→形象识别→形象创造→形象描述

逻辑思维的形式是：概念、判断与推理；

形象思维的形式是：意象（image）、联想与想象。

在科学研究中，科学家除了使用逻辑思维，还经常使用形象思维，它是科学家进行科学发现和创造的一种重要的思维形式。物理学发展史上许多重要的形象模型，如电力线、磁力线、原子结构的汤姆生枣糕模型和卢瑟福小太阳系模型等，都是物理学家的逻辑思维和形象思维结合的产物。著名的科学家爱因斯坦既是一个具有极其深刻的逻辑思维能力的大师，也是十分善于发挥形象思维的自由创造力，他所构思的种种理想化实验就是运用形象思维的典型范例。

形象思维的基本特点是：

① 形象性。形象思维所反映的是事物的形象，主要包括事物的空间形态、性质、结构、运动形态等，以及该事物与其他事物的相互联系与相互作用。其表达的工具和手段是能为感官所感知的图形、图像、图式和形象性的符号。形象思维的形象性具有生动性、直观性和整体性的优点。

---

① 何华灿，等. 泛逻辑学原理. 北京：科学出版社，2001：iv.

② 何华灿，等. 泛逻辑学原理. 北京：科学出版社，2001：12.

② 非逻辑性。形象思维不像逻辑思维那样，对信息的加工一步一步、首尾相接地、线性地进行，而是可以调用许多形象性材料，一下子合在一起形成新的形象，或由一个形象跳跃到另一个形象。形象思维对事物的把握是定性的、或然性的，有待于逻辑的证明或实践的检验。

③ 想象性。所谓想象，就是利用储存在大脑中的各种形象形成新形象的思维过程。所以，想象在形象思维中起决定性作用，它使形象思维具有创造性的优点。

由于形象思维在创造性思维中、从而在智能中起关键作用，因而形象思维的研究必然突破以数理逻辑为基础的人脑智能的研究。戴汝为院士亲历的两件事提出了有力的证明[①]：

1991 年他参加了悉尼召开的国际人工智能大会，获"思维与计算机"奖的美国布鲁克斯教授曾做了一个自动的机器——有六条腿的人造的昆虫，它有视觉功能，有一定的适应环境的能力；它可以上，可以下，可以前进，可以后退，能在地上爬，遇到障碍物可以绕过去。这是对传统的人工智能极大的冲击，传统的人工智能靠的是逻辑思维，是符号表达、启发式编程、逻辑推理；而布鲁克斯做的人造昆虫所显示的却是"没有逻辑推理的智能"，戴汝为院士称之为现场人工智能，它与环境相互作用、适应环境的变化。

1995 年他在西班牙访问期间，看到了一个人造的大蚂蚱，和布鲁克斯制造的一样，它在桌子上爬，爬出桌子的一半，没有掉下来，保持重心不会掉下去，有一半身子在外边，然后转回来，这表明它能适应环境。

从脑科学看来，传统的人工智能靠的是左脑的逻辑思维；现场人工智能靠的是右脑的形象思维。所以，钱学森独创地提出[②]：思维科学研究，其突破口在于形象思维学的创立，这是人工智能、智能机的核心问题，是尖端科学技术的一个重点，要牢牢抓住它不放，以带动整个思维科学的研究。

13.3.3 创造性思维的问题

创造学的核心是创造性思维，特别是科学研究中的创造性思维，这是创造学中比较成熟并取得公认的成果的部分。在认识史上对思维的研究沿着三条途径进行：

① 逻辑学。在西方逻辑史上亚里士多德第一个全面地研究了逻辑思维问题，建立了第一个逻辑系统——三段论。

② 美学。德国古典哲学集大成者黑格尔，在《美学》中把哲学与艺术加以比较，认为哲学与艺术都是理念，都是思维；不同之处在于哲学借助于概念，而艺术则

---

① 赵光武. 思维科学研究. 北京：中国人民大学出版社，1999：8～11.

② 赵光武. 思维科学研究. 北京：中国人民大学出版社，1999：6.

借助于形象。艺术既是一种思维，具有思想性，同时又是一种形象，具有形象性，是形象与思维的统一。

③ 创造学。它是专门研究人的创造力（creativity research）的科学。创造力与创造性思维有密切的关系，它滥觞于近代自然科学的研究与创新，早在 19 世纪末期，一些著名科学家如赫尔姆霍兹、庞加莱、阿达玛等，在总结自己科学研究经验的基础上，对创造性思维进行了研究，提出了创造性思维过程的“四阶段模式”，即：

准备阶段-酝酿阶段-豁朗阶段-验证阶段

进入 20 世纪，著名科学哲学家波普尔，总结了爱因斯坦发现相对论的创造性思维过程，提出了科学发展模式，即：

问题-猜测-证伪

把问题的提出放在创造性思维过程中的首位，认为确定了问题就确定了求解的目标，预设了求解的范围和方法，因而问题贯穿着科学理论创新过程的始终。据此，可以把创造性思维过程详解如下：

① 准备阶段——问题的提出。首先要针对问题进行周密的调查研究，搜集与问题有关的研究成果，用已有的理论进行逻辑分析。这是积累与问题有关的背景知识（主要是基础理论、专业理论和相关学科的理论以及有关的事实根据）的阶段。

② 酝酿阶段——问题的求解。根据已有的理论和搜集到的事实，提出各种可能的解决方案，也就是提出新概念、新观点，然后进行逻辑推理与实验检验。这实际上是试错过程，它往往要经过多次甚至无数次的失败，从而促使问题中的矛盾越来越尖锐化。这是有意识的思维（逻辑思维与形象思维）和潜意识的思维（直觉、灵感、顿悟）交替作用的阶段。

③ 豁朗阶段——问题的突破。这是创造性思维过程的关键阶段，在这个阶段上突破陈旧的观念，摆脱思维定势的束缚，创造性地提出新思想、新方法。开始时它只是思想的闪光，或者是模糊不清的，或者是带有错误成分的；还必须经过进一步整理、修改和完善的逻辑加工过程才能形成。应该指出，新思想的产生时间往往只是一瞬间，而逻辑加工的过程却需要很长的时间，只有经过逻辑加工，对问题的解决方案才能开朗，问题的症结才能揭露无遗，只是在这个时候，新思想才成为可以检验、评价的方案。这个阶段也是有意识的逻辑思维和潜意识的玄想交替作用的阶段。

④ 验证阶段——解决问题成果的证明和检验。解决问题的方案是否能成功、是否有价值，只有经过实践检验、评价才能确定。这个阶段主要是设计、安排实验与观察，检验由新假说逻辑地推演出来的新结论是否正确。在检验新假说时，新的实验与观察的执行人可以不同，时间的长短也有差别，检验的结果可以是新方案的证实，或证伪，或一部分被证实而另一部分被证伪。这一阶段基本上属于逻辑思维，是有意识地进行的。

科学技术社会化与社会科学技术化是现代社会发展的一个基本趋势。现代科学技术与社会有着千丝万缕的联系，它广泛地、深刻地影响着人类社会的各个方面，由此引发的复杂性问题层出不穷，诸如生态危机、金融危机、第五次产业革命、中国特色的社会主义现代化建设，等等，成为当前世界科学技术发展前沿的、事关人类的命运与前途的重大问题，钱学森敏锐地把握时代的新动向，创造性地提出开放复杂巨系统的理论与方法。

钱学森以马克思主义哲学为指导，根据现代科学技术革命的新发展，运用系统科学最新的成就，深入地探索“开放的复杂巨系统”的方法论，独创地提出了“从定性到定量综合集成方法”，把四百年来经典科学的研究方法提升到一个新的、更高的层次——复杂性科学的研究方法。

经典科学研究的一般过程是：

第一步问题的提出。主要是三类问题：事实与事实的矛盾、事实与理论的矛盾、理论与理论的矛盾。

第二步调查研究与问题有关的资料。主要是科学技术的理论、方法和相关的经验知识。

第三步针对问题进行分析与验证。主要是进行逻辑思维、形象思维与创造性思维，并通过反复多次的实验，寻找解决问题的方案或途径。

第四步形成与提出经验性假设，如判断、猜想、方案、思路等。然后通过逻辑推理、数学演算与科学实验，检验假设的真理性。

这一方法体现了从定性到定量的特点，它从原理出发，建立数学模型，应用数学方法或计算机技术进行计算，求得精确的定量解。

但是20世纪以来，现代科学技术革命提出的大多是开放复杂巨系统问题，特别是社会系统，它是开放的特殊复杂巨系统，它的经验性假设在开始时往往是思辨的和定性的描述，如何解决从定性到定量的难题？经典科学道德研究方法很难奏效，钱学森及其合作者提出从定性到定量综合集成法，在方法论上是重大的突破，其要点如下：

① 综合集成法的基础是：搜集与对象（系统）有关的情报、资料、数据及相关领域专家的实践经验。

② 综合集成法的过程是：从搜集得到的情报、资料、数据及相关领域专家的实践经验出发，从这些局部的、定性的知识出发，应用人机结合、以人为主的方法，充分利用计算机处理信息的能力，发挥人特有的智慧，实现信息与知识的综合集成。通过人机交互、反复对比、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，从而能对经验性假设的正确性做出明确的结论，得出对象（系统）的整体的定量的认识。

③ 综合集成法的组织形式是：综合集成研讨厅体系，它由下列三个子系统组成，并按照系统原理组织和进行：

知识体系，包括各种科学理论、专家经验、情报资料、统计数据、常识性知识；

工具体系，以计算机为核心的多种高新技术的集成与融合所构成的机器体系；

专家体系。

这三个体系构成高度智能化的人机结合体系，它不仅具有知识与信息采集、存储、传递、调用、分析与综合的功能，更重要的是具有产生新知识和智慧的功能，既可用来研究理论问题，又可用来解决实际问题。

④ 综合集成法的执行机构是：总体设计部，它由工程的组织管理者组成，其人员包括熟悉对象（系统）各方面专业知识的科技人员组成，由知识面比较广的专家负责领导。总体设计部是现代科学技术的研究方式，它不同于经典自然科学的个体研究方式。

⑤ 综合集成法的方法论是：它的理论基础是思维科学，方法论基础是系统科学与数学，技术基础是以计算机为主的信息技术，哲学基础是实践论和认识论[①]。

钱学森从定性到定量综合集成方法，体现了“开放复杂巨系统”方法论的重要特点，主要是：还原论与整体论结合、定性描述与定量描述结合、局部描述与整体描述结合、确定性描述与不确定性描述结合、系统分析与系统综合结合。

参考文献

何华灿，等. 泛逻辑学原理. 北京：科学出版社，2001.

马克思恩格斯全集（20卷）. 北京：人民出版社，1971.

钱学森，等. 论系统工程. 上海：上海交通大学出版社，2007.

钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996.

西蒙. 关于人为事物的科学. 北京：解放军出版社，1987.

许国志. 系统科学. 上海：上海科技教育出版社，2000.

赵光武. 思维科学研究. 北京：中国人民大学出版社，1999.

钟义信. 信息科学原理. 北京：北京邮电大学出版社，1996.

① 许国志. 系统科学. 上海：上海科技教育出版社，2000：313.

第十四章　一场新的科学革命——人体科学

1980年钱学森提出[①]:人体蕴藏着巨大的潜力,没有发挥出来,我们应该利用现代科学技术的工具和方法,从思维科学,从人体科学,从一切潜在的人体机能,去开发人的潜力。

1981年1月,钱学森在创建现代科学技术体系结构的过程中,明确提出人体科学是新兴的科学部门,他说[②]:在自然科学、数学科学和社会科学这三大部门之外,应该考虑三个新的、正在形成的大部门:系统科学、思维科学和人体科学。人体科学研究人体的功能,如何保护人体的功能,并进一步发展人体潜在的功能,发挥人的潜力。

14.1　中、西医人体研究的不同道路

人是万物之灵,是文明世界的创造者,自古至今一直是人类最为关注的研究对象。人与自然界的关系是哲学的重大问题,中国哲学称之为天人观,西方哲学称之为人体观。人体的健康与疾病是医学的中心问题。由于文化传统不同,中、西医对人体的研究走过了不同的道路。

14.1.1　西医学的人体研究及其哲学思想

西医学从人体出发,着重研究人的疾病[③],因此可以认为西医学是疾病医学。

1. 西医学的哲学思想

西方哲学的源头是古希腊哲学,它提出了第一个哲学范畴"本原",作为对"自然万物何以生成、何以存在"这个基本问题的解答。原子论的创立者之一德谟克利特(约公元前470～370年?)认为,原子是万物的本原,是物质实体的终极,是不可分的;原子之间的区别、排列与组合是生成其他不同事物的原因。与他同时代的西

---

① 钱学森,等.论系统工程.上海:上海交通大学出版社,2007:125.

② 钱学森,等.论系统工程.上海:上海交通大学出版社,2007:128～139.

③ 陆广莘精辟地指出:西医学是疾病医学,它本着与疾病对立的观念,"去编织医学的知识经纬;围绕与疾病作抗争的价值取向,去建构医学的理论模块;它的医学语言,则是充满着对疾病的憎恶、排斥和恐惧,医学的实践问题和实效问题,被转换成为疾病的认识问题和理论问题。"见:中国中医科学院中医基础理论研究所.陆广莘研究员从医六十年纪念文集.

方医学始祖希波克拉底(约公元前 460～377 年)，力求在自然界和人体中寻求疾病的原因。

古希腊原子论关于实体、结构与分析的哲学思想成为后来西方医学的物本主义观点与还原论的分析方法的渊源。

2. 西医学对人体的观点

16 世纪自然科学革命把西医学从希腊自然哲学中分化出来，走上科学的道路。它把人体看成是一个物质实体，采取还原论的分析方法去研究人体的结构与功能。现代西医学认为[①]:

人体的结构可分为两大类系统:一是作为人类行为基础的运动系统。即骨骼系统和肌肉系统;二是人体内器官系统。人体内器官系统又可分为三类:司代谢物质运输的系统——循环系统、呼吸系统、消化系统和泌尿系统;司内环境稳恒的系统——内分泌系统、神经系统、免疫系统;司个体复制的生殖系统。每个系统分为五个层次，即:分子、细胞、组织、器官和系统。

人体的功能表现为新陈代谢、兴奋性和生殖等生理功能，以及它们之间的相互关联、相互制约与相互作用。

3. 西医学研究人体的方法

西医学从人体是物质实体的观点出发，用自然科学的方法研究人体的结构与功能，取得了两项重大的科学成果。

第一项是确立了人体研究的科学基础。一是 1543 年维萨里《人体的构造》出版，创立了科学的人体解剖学，为临床医师提供了第一本比较精确的解剖图谱。二是 1628 年哈维《心血运动论》出版，从心脏和血管的作用研究血液的机械运动，标志近代生理学的诞生。

第二项是提出了人体研究的科学方法，主要是:

① 归纳法。英国哲学家弗兰西斯·培根的《新工具》(1620 年)制定了以实验为基础的归纳方法。

② 演绎法。法国哲学家笛卡尔的《方法谈》(1637 年)提出了以逻辑为依据的演绎方法。

③ 归纳法与演绎法结合。意大利数学家、物理学家、天文学家和哲学家伽利略把实验归纳方法与数学演绎方法结合起来，研究自由落体运动，成功地发现了自由落体运动定律，这一方法成为物理学的基本方法。

---

① 中国大百科全书——现代医学Ⅱ.北京:中国大百科全书出版社，1993.

4. 西医学的医学观与治疗思想

随着自然科学的进步，西医学形成了以物为本的医学观，它“用‘人体构造’的知识建立其病理学及其解剖定位，用‘菌毒传染’的知识建立起病原学和毒理学，用‘药性分析’的化学成分知识建立起药理学和愈病之理”①。因而西医学的医学观是以研究疾病及其对病因、病理与病位为中心问题的医学观。按照这种观点，西医的治疗思想是：针对疾病使用对抗性的疗法，如：“消除病因”，用抗生物代谢的化学疗法，如抗生素的应用；“纠正病理”，通过受体激动剂或阻滞剂的应用纠正病理不足与亢进；“清除病灶”，使用针对靶点的化学药物；外源性物质的直接替代或补充，如激素等。

在西方的医学观占统治的情况下，西医药物治疗的广泛使用，带来了严重的后果：药物服用过多对人体产生损伤；出现“多元抗药”，加速药物淘汰和病原体变异；出现“受体超敏”，加重人体对对药物的依赖；诊断用的医疗手段（医学仪器、疾病化验等）价格昂贵，增加病人的负担，普遍感到看病贵、看病难。由此产生了世界性的医疗危机，以致世界卫生组织在 1996 年的一份报告中指出：下一个世纪的医学，“不应继续以疾病为主要研究对象，而应当以人类健康作为医学研究的主要方向。”

14.1.2 中医学的人体研究及其哲学思想

中医学是具有中国特色的生命科学，它从人的整体、人与自然有着密切关系的观点出发，研究人的生命运动、变化之道，形成了它独特的理论体系和临床思维模式。中医学不仅是治病之学，更重要的是治人之道。

1. 中医学的哲学思想

《黄帝内经》是我国传统医学经典著作之一，是我国医学宝库中现存成书最早的一部医学典籍。它成书于战国时期，融合了古代哲学、自然科学与医学，汇集了古代劳动人民与义务工作者长期与疾病作斗争的临床经验和理论知识。《黄帝内经》奠定了中医学的理论基础，是公认的医学经典，它集中体现了我国古代朴素的唯物论、辩证法思想，鲜明地表明中医学与西医学对人体研究不同的观点与方法。

2. 中医学对人体的观点

中医学不仅重视人的身体，更重视人的生命，它把人的生命运动放在自然、社会、历史这个大系统中考察，采取整体论的方法研究人的生命运动。中医学对生命的观点是：

---

① 中国中医科学院中医基础理论研究所. 陆广莘研究员从医六十年纪念文集：104.

(1) 人的生命是形、气、神三者的统一

神不仅包括思想意识，更重要的是还包括精神意志；气是物质的运动，特别是人的生命运动；形不仅是人的形体，还包括生命空间与生命场①。中医学对人的研究不停留在形这一实体层次上，而是把重点放在形与神及气的关系及其作用上。从现代科学看来，可以理解为：人体除了是物质能量系统即形态结构系统（"形"）外，更重要的是还有气，它是生命运动的根本属性，是信息控制系统即功能活动系统（"气"），气和精神心理系统（"神"）是生命运动的核心。

(2) 人与自然界是一个整体

人自身、人和人、人和自然（即天地人）构成一个复杂的超巨系统。《周易》中的天地人三才之道认为：天地人三道之间有密切的关系，地道与人道是从属于天道的，"有天地，然后万物生焉"（《序卦》）。《黄帝内经》中"人与天地相参"。

中医学一方面通过对人的形、气、神的阴阳调节，使人在天地中的生命活动过程保持平衡、稳态；把重点放在恢复与提高人自身固有的自调节与自控制的能力上。另一方面通过对环境（包括自然生态环境与社会文化环境）的适应，使人与环境和谐相处。

3. 中医学研究人体的方法

中医学从天、地、人以及人自身的整体观点出发，用系统的方法研究人的生命运动。

(1) 在治疗方面采用辨证论治方法

它运用各种诊断方法，辨别各种不同的证候，对病人疾病发生、发展过程中的生理特点以及结合时令节气、地区环境、生活习俗等因素，进行综合分析，研究其致病的原因，然后确定恰当的治疗方法。

"辩证"是指在望、闻、问、切四诊收集到的资料、症状和体征的基础上，通过分析与综合，辨清疾病的病因、性质、部位，以及邪正之间的关系，概括、判断出患者当前的健康状态所属的"证"。"论治"就是在"证"确定后，根据中医治疗原则，虚则补之、实则泻之、热则寒之、寒则热之等原则，拟定合适的治疗方案。选取符合要求的药，按君臣佐使、七情和合组成处方，实施治疗。辨证和论治是诊治疾病过程中相互联系、密不可分的两个方面，体现了理论和实践相结合，是指导中医临床的基本原则。

(2) 在医学观方面，坚持辩证理性方法

受《周易》辩证思维方式的影响，中医从运动、变化、联系的观点研究人的生命运动，这表现在三个方面：

---

① 傅景华. 中医与易的关系及其未来的发展.

① 变异思维。宇宙一切事物都是运动、变化、发展的,《系辞》说:“日新之谓盛德,生生之谓易”。

② 相成思维。世界上任何相互对立的两个方面或事物都不是孤立存在的,其中的一个方面或事物虽然与另一个方面或事物是对立的,但又以对立面作为自身存在的条件或前提。《系辞》说:“阴阳合德而刚柔有体”。认为阴阳相互补充,相互接济,是客观世界和谐存在的前提。

③ 整体思维。世界是一个有机的整体,构成世界的一切事物都是相互联系、相互制约的。

总的说来,中医学以人为本,它认为:人与天地之气相通,人是生态的人;人是有机的整体,他内部又有许多更小的整体,它们反映人的信息。因而中医研究不是以病为本,而是以人的健康为本。治病之本不是用药,而是提高人的防病能力、抗病能力、提高调节系统运行的能力;中医强调三分治,七分养。中医治病的“本”是提高人自身的自我痊愈能力和自我抵抗能力,“末”是减轻、消除病症。

14.2 人体科学提出的历史文化背景

14.2.1 科学技术的发展与西方医学模式的转变

现代人类对物质科学与能量科学的认识水平,是以往一切时代所不能比拟的。但人类对于人自身的研究却大大滞后了。现代生命科学虽然有了长足的进步,但是人体科学并不能完全归入它的范围,因为人除了有生物的属性外,还有不同于生物的根本特点,这就是:人有意识,有主观能动性;人不仅能认识世界,更重要的是能在认识世界的基础上改造世界,而其他生物则是没有这种能力的。特别是人的“意识反馈”对自身的作用,是亟待研究的一个领域。18世纪西方机械唯物论观点的失误就在于:它只重视物质,忽视精神;只谈物质对精神的决定性作用,对于精神反作用于物质的问题虽然提到了,但是缺乏进一步地、深入地研究。

现代医学实际上占统治地位的是西医学,它对人体的研究,从1543年哥白尼天文学革命起,逐渐摆脱思辨与臆测,采用实验研究、还原分析、定量求证等方法,研究人体的结构与功能,取得了举世公认的成果,因而上升为世界主流医学。但是,应该指出:西医学也是随着自然科学的发展而发展的;每当自然科学取得重大进展,西医学研究人体的观点与方法(即所谓医学模式)也随之发生重大的转变。在西医学发展史上主要是以下几次医学模式的转变。

1. 16～17世纪机械论医学模式的形成

在牛顿物理学范式形成时,机械论医学模式也与之同步形成,这主要归功于人

体科学研究的两项革命：一是维萨里的解剖学革命；二是哈维的生理学革命。维萨里和哈维都是把人体看成是物质实体，应用物理学的方法对它进行结构与功能的研究，形成了机械论医学模式。医学家按照这种模式，把机械运动规律应用于研究人体的各种现象。机械论范式导致哲学家拉美特里在《人是机器》(1748 年)中，把人看成是机器，人的各部分的运动纯粹受机械运动规律所支配。

2. 18～19 世纪生物医学模式的形成与发展

随着物理学、化学，特别是生物学的发展，人们认识到人体的生命过程除力学、物理学、化学的过程外，还有生物学过程，这就突破了机械论医学模式的局限性，把现代医学研究推向一个新的发展阶段。这主要是由生物学的以下几个重大进展推动的：

(1) 细胞病理学的创立

细胞病理学的奠基人菲尔肖(1821～1902 年)在《细胞病理学》(1858 年)一书中认为，一切疾病不过是正常的生命现象受到了改变，于是他从新陈代谢是细胞的内在过程这一基本认识出发，寻找疾病究竟是发生在哪部分机体的细胞里面？菲尔肖把疾病医学从器官层次推进到细胞层次，从细胞的病理过程来说明疾病(生命运动失调)的原因。但是他的方法主要是采用形态学的观察方法，忽视了外界致病因素的重要性，如细菌等病原生物。

(2) 实验生理学的提出

实验生理学的奠基者贝尔纳(1813～1878 年)把生理学研究方法推向前进。贝尔纳的《实验医学研究导论》(1865 年)坚持机械决定论的观点，认为所有的生命现象都有其物理化学基础；他提出人体是一部需要凭借自身组成部分的物理化学特性而运转的机器。随着细胞学研究的进展，他把注意力放在生理学的基本问题——细胞与直接同它们相接触的周围环境间的关系——上，得出著名的论断："内环境的稳定是自由和独立的生命赖以维持的条件"。

(3) 细菌学的兴起

化学家巴斯德(1822～1895 年)的研究路线是：从化学到发酵学，再从发酵学到疾病的"微生物"理论。巴斯德研究发酵液时，得出同李比希和维勒等相反的结论，认为所有的发酵都是由微生物所引起的，而不是发酵产生微生物。在对微生物进行了二十多年研究的基础上，他进而探索细菌和疾病之间的关系，对炭疽病、鸡瘟病、狂犬病等进行了艰苦的实验研究，科学地证明了流行性传染病是由微生物引起并进行传播的，从而引起了医学的又一次革命。

(4) 医学仪器与医学化验方法的发明

水银温度计的发明，显微镜的改进，X 光机，心电图机等物理仪器的发明，血液检验方法的使用，计算机辅助断层成像技术，磁共振成像技术，超声成像技术，等

等，对疾病的病理形态、病变部位的诊断更为精确。

在上述生物学发展的基础上，发生了从机械论医学模式向生物医学模式的转变。它把人体看成是有生命的生物体，但是没有重视人具有不同于生物的精神，更谈不到研究精神对物质的反作用；它的基本观点仍然是机械唯物论，基本方法仍然是还原论方法。现代医学用观察、实验和分析，把人体分解为各个器官、各个组织、各个部分，分门别类地进行实证的、系统的考察与研究，从而获得了关于人体健康与疾病、病因与预防、治疗与康复、生命与死亡等方面细节的、实证的知识，形成了现代医学相对稳定的、完整的体系。

3. 20 世纪生物心理社会医学模式的形成与发展

20 世纪中叶以来，一方面由于生物医学在现代医学中占据主要地位，造成了新一代医生对病人的心理、行为和社会等方面的忽视，大夫在诊断上只是依赖化验和特殊检查，在治疗上只在个人专业范围内考虑，治病不治人；另一方面由于工业化、城市化和生活紧张，带来了疾病的增加。这些情况对机械论与还原论产生了决定性的冲击，它一方面促进了西医学从生物医学模式向生物心理社会医学模式转变；另一方面促使人们更深入地思考人体的问题，特别是人的精神与机体的密切联系与相互作用问题。

14.2.2 人体科学研究与科学革命

近代以来科学发展经历了三次革命：

第一次是 17 世纪牛顿物理学革命，它确立了西方的科学观与科学范式，其基本特点是机械论观点、还原论方法。属于简单性科学。

第二次是 20 世纪初普朗克量子论与爱因斯坦相对论的科学革命，它把科学研究领域推向高速、微观与巨观的范围，但是从研究的观点与方法来看，仍然属于简单性科学。

第三次是系统科学革命，它经历了三个时期：20 世纪 40 年代为诞生期，主要是系统论、信息论、控制论与运筹学等。特别是贝特朗菲的一般系统论，他从理论生物学家的立场批判了机械论的科学观与还原论的方法。20 世纪 60～80 年代为发展期，主要是以自组织理论为核心的耗散结构论、协同学、超循环论与混沌学等的建立，及其向各个学科领域的渗透。20 世纪 90 年代后为深化期，从系统的角度，从相互作用的观点，考察复杂性问题，特别是复杂性与简单性的关系，复杂性的进化等。

20 世纪 80 年代起，钱学森站在战略科学家的高度，致力于系统科学的基础科

学——系统学的建立①。他以马克思主义哲学为指导，总结现代科学技术的新成就与新进展，在创建现代科学技术体系结构的框架的基础上，从人类认识发展的过程，建立了系统科学的体系结构的框架为：

马克思主哲学-系统观-系统科学-系统技术-系统工程

钱学森就是在现代科学技术发生革命性变革的历史时刻，提出人体科学研究的。

14.3 人体科学的范围与体系

14.3.1 人体科学研究的范围

西医学主要是由三个部分组成②：第一部分是临床医学（治病医学——第一医学）。它主要以求诊病人为对象，探讨疾病的诊断和治疗问题。临床医学是传统医学的主体，是现代医学科学的核心。第二部分是群体医学（预防医学——第二医学），它以一定的社群为对象，研究人群的健康情况和疾病在人群中的分布，着重探讨致病原因及相应的预防措施。预防医学又分三个层次：初级预防即中医的"未病先防"；二级预防即中医的"既病防变"；三级预防着重在康复（康复医学——第三医学）。第三部分是基础医学，它以正常人体为对象，以生物科学为医学基础科学的核心，其中包括生理学、生物化学、分子生物学、细胞生物学和发育生物学以及病理学、病理生理学、病原生物学、免疫学等。

钱学森创造性地提出，人体科学研究的范围，不应限于人体的治病、防病、康复的范围，根据现代科学技术的发展，根据人类社会的发展，人体科学要研究 如何"挖掘人的潜力"③，他将这个研究称之为第四医学。所以钱学森认为，从总体上说，人体科学"是研究人体、保护人体正常功能并开发人体潜在新功能的学问。"④分别地说，第一医学是治病的医学，第二医学是预防医学，第三医学是康复医学，而他所提出的第四医学则是提高人的能力，挖掘人的潜力的学问。第四医学的研究，是事关国家民族的前途与命运的大问题，因为21世纪国与国之间的竞争归根究底是智力的竞争。

14.3.2 人体科学的体系

如同其他现代科学技术大部门一样，钱学森从纵向上把人体科学分三个层次，

① 北京大学现代科学与哲学研究中心．钱学森与现代科学技术．北京：人民出版社，2001：138.

② 吴阶平，全如瑊．现代医学．北京：中国大百科全书出版社，1993：12.

③ 钱学森．人体科学与现代科技发展纵横观．北京：人民出版社，1996：427.

④ 钱学森．论人体科学与现代科技．上海：上海交通大学出版社，1998：111.

每一个层次又有许多门学科；并把整个人体科学部门概括上升为一座桥梁——人天观，通往现代科学技术的最高概括——马克思主义哲学。

钱学森从系统论的观点出发认为①，人天观是讲人和环境、人和宇宙这个超级巨系统的。它有三个部分，即：宇观的人天观，把人放到宇宙中去考察；宏观的人天观，考察人体内部与环境的关系；微观的人天观，考察人天观的量子力学基础。

至于人体科学的三个层次，钱学森阐述如下②：

人体科学的第一个层次是基础科学②，它包括生理学、心理学等，以及研究人的意识、思维活动。此外还要加一个非常重要的学科——人体学，它从人的整体、从人体功能态和功能态的调节去研究人。

人体科学的第二个层次是技术科学，是医学理论，它包括西医的理论，如病理学、药理学、免疫学等，还包括中医的理论。

人体科学的第三个层次是实用科学，它包括治病医学、防病医学、康复医学，特别是还包括开发人的潜在的能力的医学。

综上所述，钱学森把人体科学技术体系概括如表 14-1 所示③。

表 14-1

马克思主义哲学	桥梁	基础科学	技术科学	应用技术
	人天观	生理学	病理学	内科学、外科学
		脑神经学	药理学	儿科学、妇产科学
		脑科学	免疫学	神经病学
		精神学	人机工效学	第一医学、第二医学
		生理心理学	中医学	第三医学、第四医学
		心理精神论		

14.4　人体科学研究的观点与方法

钱学森认为，生物学只是医学的最基础的理论，医学研究人体，它与生物科学不同，人体的研究涉及物质与精神、客观与主观、大脑与意识之间的关系，涉及哲学的基本问题。这是人体科学与生物科学的根本区别，因此人体科学研究，不能像西医学那样局限在机械唯物主义的观点与方法范围。西医学是“物本主义”，它以人体的物质结构与生理功能为本，以治病为目标。我们必须是辩证唯物主义的“人本

---

① 钱学森. 论人体科学与现代科技. 上海：上海交通大学出版社，1998：45.
② 钱学森. 论人体科学与现代科技. 上海：上海交通大学出版社，1998：98.
③ 钱学森. 论人体科学与现代科技. 上海：上海交通大学出版社，1998：112.

主义”。它不仅注重人体的物质基础，还强调人的精神、气质，以健康长寿为目标。

在当代科学技术发展过程中，由于受到西方科学文化思潮的影响，重物质，轻精神，因而对精神世界的研究严重地落后于对物质世界的研究，出现了精神与物质分离的现代科学技术危机和现代人类危机。钱学森是马克思主义战略科学家，洞察问题之所在，强调人体科学的研究必须以辩证唯物主义为指导，用现代科学、特别是系统科学的理论与方法，去探索精神与物质之间的关系和大脑与意识的关系。这是解决当代科学文化与人文文化分离极其重要的课题。

14.4.1　人体科学研究的哲学观点与哲学方法

钱学森坚持马克思主义哲学的观点与方法，认为从马克思主义哲学看来，物质与精神、客观与主观、大脑与意识的辩证关系是哲学的基本问题；人体科学不同于生物科学的特点在于：它的研究涉及人的精神、人的意识的能动作用，因而必须用辩证唯物主义观点来指导[①]，这是非常重要的。钱学森多次明确提出：人体科学研究的哲学观点，“首先是要唯物的”[②]，要坚持“物质是第一性的，意识是第二性的”观点，“不要唯心的”[②]。在人体科学研究过程中，他反对脱离物质来研究精神。

现代科学已经证明，人体是物质的，构成人体的物质成分如表 14-2 所示。

表 14-2

元素	氧	碳	氢	氮	钙	磷	钾铜氯等	氟硅钒等
百分比	45	18	10	3	2	1	0.9	0.1

人体科学研究首先必须遵循物质科学（力学、物理学、化学与生物学）的规律。

人体科学研究的哲学方法。钱学森认为：人体是一个开放的复杂巨系统，人体科学研究“要辩证地看问题，而不是机械唯物论。”[②]这就是说，要承认意识对物质的反作用，承认物质可以变成精神，精神可以变成物质这样在日常生活中常见的飞跃现象。

在现代科学研究中，占统治地位的方法是经典科学方法，它是在牛顿力学的基础上发展起来的，直到现在还是主要的方法，但是应该指出，它不是唯一的方法。恩格斯从哲学上把牛顿力学的观点与方法概括为：机械论观点与还原论方法。

机械论观点认为，自然界的一切现象都是在质点的相互作用力下产生的，自然现象变化与发展的根本规律是机械运动规律。还原论的方法把复杂的高级运动形式“还原”为简单的低级运动形式，用低级运动形式的理论去概括高级运动形式的本质。

---

① 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：116，121，147.

② 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：430.

钱学森以辩证唯物主义的观点为指导，在分析、总结国外系统科学研究新成就与新进展的基础上，提出以下主张：

① 人体科学研究必须用辩证的方法，才能克服机械论观点与还原论方法的局限性。

② 辩证法的具体化就是系统科学的辩证法(即系统论)，它是从系统科学到马克思主义哲学的桥梁。它的方法论原则是辩证地处理结构与功能，还原论与整体论等的关系。

③ 在研究人体这样复杂的系统时，不讲整体不行，只讲整体也不行；不研究局部不行，只研究局部也不行。系统科学的辩证法的方法论原则是“整体论和还原论的辩证统一。”①

14.4.2 人体科学研究的科学观点与科学方法

马克思认为：“科学是实验的科学”②，培根由于提出科学归纳法，使他成为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”②。马克思主义哲学的基本观点认为，实验是检验科学真理性的唯一标准。正是由于提出实验和重视实验，科学才从哲学中逐渐分化出来，近代自然科学从此蓬蓬勃勃地发展起来。

爱因斯坦也认为：通过系统的实验发现因果关系，是西方科学的一个基础③。由于伽利略看到了实验的重要性，尤其是由于他通过实验发现了许多真理，纠正了当时流传和盛行的错误观点，从而向科学界谆谆不倦地教导这一点，“他才成为近代物理学之父——事实上也成为整个近代科学之父。”④

钱学森强调：对人体的科学研究必须高度重视实验，当前特别是要“多做实验，少谈理论”⑤。他认为，理论的探讨固然重要，但是对人体的潜能这一重大问题，最根本的是“要以科学实验的方法来探索人这个整体是如何工作的。”⑥他一再谆嘱：在这个问题上，一是要“老老实实地做观察试验”⑦，“不急于去找机制机理的，物理的解释。”⑦二是所做的实验，“一定要严格，这是一切分析的基础，在此基础上采用科学的方法进行分析，数据要齐全。”⑧总之，严肃、周密、科学的实验，是关系到人体科学的创建和发展的关键，是“捍卫辩证唯物主义”⑨的大问题。在钱老的倡议

① 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：361.
② 马克思恩格斯全集(2卷). 北京：人民出版社，1965：163.
③ 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集(1卷). 北京：商务印书馆，1976：574.
④ 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集(1卷). 北京：商务印书馆，1976：313.
⑤ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：200.
⑥ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：93.
⑦ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：201.
⑧ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：147.
⑨ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：148.

和领导下，一些科学家进行了大量的、认真的关于人体特异功能的实验研究[1]。

马克思还认为，科学是理性的。他指出："科学在于用理性方法去整理感性材料"[2]。近代科学初期的理性方法主要是归纳、演绎、比较、分析、综合、概括等，也就是形式逻辑方法。

爱因斯坦也指出：体现在欧几里得几何学中的亚里士多德形式逻辑体系是西方科学的一个基础[3]。牛顿的《自然哲学的数学原理》(1687 年)，就是在分析概括前人和他自己观察实验成果的基础上，用数学和逻辑把天体运动与地球上物体的运动统一起来，形成了牛顿力学的理论框架，"直到 19 世纪末，它一直是理论物理学领域中每个工作者的纲领。"[4]光学、热力学、电学和磁学都是沿着牛顿力学的观点与方法发展起来的。

14.4.3　人体是一个开放的复杂巨系统

20 世纪 60 年代后系统科学迅猛发展，系统科学的整体论与有机论对近代科学的机械论与还原论产生了决定性的冲击。钱学森指出：在人体科学中首先就是它的研究对象的复杂性，人体是一个开放复杂巨系统[5]，表现在三个方面：

(1) 人体本身是一个开放复杂巨系统

从形态结构来看，包括如下的组分[6]：

形态结构由分子、细胞、组织、器官与系统五个层次组成。

细胞是人体结构的最小单位，它由细胞膜、细胞质和细胞核组成。细胞能完成一切生命活动，包括代谢、呼吸、消化、排泄、生殖等生理功能。

组织由细胞的繁殖、发育、分化而形成，人体组织可分为上皮、结缔、神经和肌肉四大类。

器官由不同的组织组合而成，包括心、肺、肝、肾等。

系统由一系列器官组成，包括骨骼、肌肉、神经、循环、呼吸、消化、泌尿、内分泌、生殖等系统。

必须指出，人体除了是形态结构系统("形")外，更重要的是还有信息控制系统即功能活动系统("气")和心理精神系统("神")。

(2) 人与环境是一个更为复杂的开放巨系统

环境包括自然生态环境和社会文化环境。前者主要是环绕人的空间中的阳光、空气、水分、土壤、岩石矿物、植物、动物等，它与人的活动相互作用，制约着人的

---

① 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：148.

② 马克思恩格斯全集(2 卷). 北京：人民出版社，1965：163.

③ 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集(1 卷). 北京：商务印书馆，1976：574.

④ 许良英，范岱年. 爱因斯坦文集(1 卷). 北京：商务印书馆，1976：225.

⑤ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：149，187.

⑥ 许国志. 系统研究. 杭州：浙江教育出版社，1996：352.

一切活动，是人赖以生存和发展的物质基础。后者主要包括：物理的如建筑物、道路、工厂等；生物的如动物与植物的驯化与饲养；心理的如思维方式、风俗习惯、道德、法律和语言等。人们就是在一定的社会文化环境中活动的，人们的思想行为是在社会文化背景下形成与发展起来的。中国传统医学的“天人合一”观早已做出深刻的概括。

人生活的自然生态环境与社会文化环境对人类健康长寿的影响相当大，据WHO调查统计所获得的数据如表14-3所示。

表 14-3

医疗	遗传	气候	社会环境	生活方式、心理状态
8%	15%	7%	10%	60%

（3）人体科学研究的方法

经典科学的研究方法是：由科学理论、经验知识和专家的创造力相结合，提出假设，然后用数学演算、逻辑推理和进行实验来证明假设是否正确。但在研究复杂巨系统时，它便远远不够了。钱老在现代科学技术，特别是系统科学技术与计算机科学技术发展的基础上，提出从定性到定量综合集成方法：

人机结合、以人为主，充分利用计算机处理信息的能力，发挥人特有的智慧，实现信息与知识的综合集成。

通过人机交互、反复对比、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，从而能对经验性假设的正确性做出明确的结论。

内省的方法。在人体科学研究中，研究对象与研究者都是人，而人是有意识，有主观能动性的，这是人体科学实验不同于其他科学实验的根本特点。人体研究实验涉及人的意识、意识与人体的相互影响，以及影响的变化过程。首先，由于研究对象是活生生的人，而人体不能伤害，人的权利不容侵犯；其次，人是一个开放的复杂巨系统，因而以往的医学实验，从哈维以来一直是以各种化学物质及物理因素，在动物、微生物、人的离体组织及各种分泌物、乃至人的尸体上进行。这种实验方法基本上属于生物实验、化学实验、物理实验方法的移植。至于20世纪60年代以来兴起的临床试验中的双盲法，也只是适用于药物效果试验。因此在医学中除了“实验”，还要有“体验”（中医的自省或内省），这是中医学不同于并且优于西医学的地方。

14.5 人体科学研究是一场新的科学革命

14.5.1 人体功能态

它是描述人体这个开放复杂巨系统的整体功能的，对人体科学的研究和人类

社会的发展有着极为重要的意义。可以将人体功能态分为三大类[①]：

① 正常功能态，如醒觉功能态与睡眠功能态。

② 反常功能态，如疾病功能态和危机功能态。

③ 特异功能态，包括两种，一种是超常功能态，如竞技功能态、记忆功能态与灵感功能态；二是异常功能态，如特异功能人的"耳朵认字"等。

前两类功能态是人们所熟悉的。问题的关键在于第三类特异功能态，它"实际上就是人的潜能、人的潜力"[②]。

特异功能态中的超常功能态是确实存在的，它就是所谓的超乎常人的智力，这是不容否认的事实，在史书上多有记载；在现代也是有所传颂，著名的例子是20世纪最杰出的数学家之一冯·诺依曼（1903～1957年），他从小就聪颖过人，读书过目不忘，对读过的书籍和论文，能很快一句不差地将内容复述出来，而且若干年后，仍可如此。他六岁时就能用古希腊语同父亲闲谈，一生掌握了七种语言，最擅德语，在他用德语思考种种设想时，又能以阅读的速度译成英语，是公认的奇才。冯·诺依曼在发明电子计算机中所起到的关键性作用，使他被誉为"计算机之父"。他最大的贡献是对计算机科学、计算机技术和数值分析的开拓性工作，并在算子理论、集合论、拓扑群、博弈论、格论、连续几何、理论物理、动力学、连续介质力学、气象计算、原子能数学等领域都有举世公认的、杰出的成就。

至于特异功能态中的异常功能态，它是异乎常人的功能，如"耳朵认字"、遥"视"、遥感、意识拨表和折枝等。这些异乎常人的功能显然是与常识相违背的，是迄今为止的自然科学理论无法解释的，因而遭到一些科学家强烈反对，认为它是迷信，是伪科学，是反马克思主义，这是完全可以理解的。

钱学森坚持科学的创新精神认为：特异功能（异乎常人的功能）是一个新的、未知的研究领域，目前不能用现存的科学理论与科学方法作出解释；特异功能"之所以'特异'是因为我们现在还不认识它，而一旦认识了它的本质之后，就不再是特异的了。"[③]

在人体科学研究中遇到的特异功能现象，就是库恩的科学发展模式中的"反常"。库恩用历史的方法、从动态的角度，考察科学的发展过程及其机制，提出了如下的科学发展的模式：

前科学-常规科学-（反常、危机）-科学革命

常规科学时期的特点，是在已知的、公认的理论指导下不断积累知识的时期。科学革命时期，是从反常引起的危机开始的。反常是现有的理论无法解释的现象，它是

① 钱学森. 论人体科学. 成都：四川教育出版社，1989：88.

② 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：248，367.

③ 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观. 北京：人民出版社，1996：159.

科学发展的内在动力，是引发科学革命的必然机制。在科学发展史上，首先是对反常进行观察实验，证实反常是确实存在的；然后对反常作出种种探索性的理论解释，最后突破了现有的理论框架，这就是科学革命。

在对待特异功能问题上，钱学森坚持科学的态度：第一，他说，目前对特异功能这种反常的现象，我们“实际上还是在探索，还不能说是开始了真正的研究。”①但是，应该承认这是科学发展史上经常遇到的情况。第二，他郑重地告诉我们，对特异功能这个未知的现象，应该指出，不是说没有假的，但是只要有一次是真的就要研究②。第三，钱学森强调指出：在科学探索的过程中，“谁也不能保证完全正确，自己不要这样想，别人也不要这样要求。”③当前最根本的“就是老老实实地做观察试验。”④要证明特异功能确实是存在的，“不急于去找机制机理的，物理的解释。”因为特异功能的问题是很深的，不必急于求成。如果“达不到一个科学实验的要求，这样的实验你做得再多，也无济于事，最后不能把问题搞清楚。”⑤反而授人以柄。第四，钱学森认为，特异功能与魔术、骗术是有区别的，如果把有待研究的特异功能和江湖术士骗人的把戏混淆，将会带来严重的后果，会把有待研究的、未知的领域视为迷信、打入禁区，这将扼杀科学求知、求实、不断创新的精神，不利于落实胡锦涛总书记建设创新型国家的战略决策。

14.5.2 人体科学研究是第二次文艺复兴

钱学森深有远见地指出人的潜在能力是非常大的，迄今还没有完全挖掘出来。开发人的潜在能力，这是关系国家民族命运的大问题。21 世纪是智力战，“我们要在世界上立国，站得住，一定要在智力开发上领先。”⑥教育制度、教育方法的改革，说到底是要把人的能力大大地提高一步。

钱学森一再指出，人有很大的潜力，但每个人的发展并不一样，教育家的任务就是要把人的潜力开发出来。早在 1985 年邓小平在全国教育工作会议上就指出，我国是 12 亿人口的大国，“教育搞上去了，人才资源的巨大优势是任何国家比不了的。”⑦有了人才优势，再加上先进的社会主义制度，我们的目标就有把握达到。

如果说，“第一次文艺复兴发生在 16 世纪，它打破了中古时代的愚昧，开辟了

---

① 钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996：160.
② 钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996：411.
③ 钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996：148.
④ 钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996：201.
⑤ 钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996：202.
⑥ 钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996：428.
⑦ 邓小平文选(3 卷).北京：人民出版社，1993：120.

近代科学发展的道路。”[①]它的重大意义是人的思想解放。把人从神权、皇权的束缚下解放出来，弘扬人的价值。由此产生的民主、自由、平等、博爱等价值观念，成为西方国家发展的价值导向。那么，人体科学研究是开发人的潜力，“从人的特异功能中找出规律，能够挖掘出人的潜在能力”[①]，“使我们认识客观世界和改造客观世界来一次更大的总的飞跃，这难道不是第二次文艺复兴吗？”[②]总结历史，人体科学研究将对社会生产力、人类文明、价值观念产生影响。可能导致一场 21 世纪的新的科学革命。

参考文献

北京大学现代科学与哲学研究中心.钱学森与现代科学技术.北京：人民出版社，2001.
邓小平文选(3卷).北京：人民出版社，1993.
马克思恩格斯全集(2卷). 北京：人民出版社，1965.
钱学森，等.论系统工程.上海：上海交通大学出版社，2007.
钱学森.论人体科学.成都：四川教育出版社，1989.
钱学森.论人体科学与现代科技.上海：上海交通大学出版社，1998.
钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996.
吴阶平，全如瑊.现代医学.北京：中国大百科全书出版社，1993.
许国志.系统研究.杭州：浙江教育出版社，1996.
许良英，范岱年.爱因斯坦文集(1卷).北京：商务印书馆，1976.
中国大百科全书——现代医学Ⅱ.北京：中国大百科全书出版社.

① 钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996：419.
② 钱学森.人体科学与现代科技发展纵横观.北京：人民出版社，1996：420.

第十五章　科学整体化时期的教育理念——大成智慧学

教育是培养人的事业，它事关中国发展的命运与前途，邓小平指出[①]：党的十一届三中全会提出全党全国工作重点转移，应当包括教育。如果只抓经济，不抓教育，工作重点就没有转移好。忽视教育的领导是缺乏远见的，领导不了现代化建设。中国是人口大国，教育搞上去了，人才资源的巨大优势是任何国家比不了的。

1984 年中央十二届三中全会，“关于教育体制改革的决定”与“关于科学技术体制改革的决定”，1986 年中共中央十二届六中全会，“关于社会主义精神文明建设指导方针的决议”，实质上都是关于教育的。教育体制改革与科学技术体制改革，都是为了解放科学技术生产力，属于生产关系范畴；教育思想、教育内容、教学方法的改革，和整个中华民族的思想道德素质和科学文化素质建设，是提高全民族的素质与科学技术文化水平，属于生产力范畴。

15.1　当代教育处在科学整体化时期

教育思想、教育内容、教学方法的发展同社会历史的发展，同科学技术的发展有着紧密的联系。特别是人类从传统的农业社会进入现代社会后，教育发生了很大的变化。

15.1.1　工业时代的教育

18 世纪末英国工业革命促使资本主义生产方式走向成熟，马克思指出了工业发展与科学发展之间的密切关系[②]，他说：机器大工业生产过程是科学的应用，而科学反过来成了机器大工业生产过程的因素即所谓职能。工业时代每一项科学发现都成了新的技术发明或生产方法的新的改进的基础。工业生产力与资本主义制度相结合的资本主义生产方式第一次使自然科学为生产服务，同时，生产的发展反过来又为自然科学的发展提供了手段；它第一次产生了只有用科学方法才能解决的实际问题，并且第一次在相当大的程度上为自然科学创造了进行研究、观察、实验的手段。因此，随着资本主义生产方式的扩展，科学广泛地发展、应用并体现在

---

① 邓小平文选(3 卷).北京：人民出版社，1993：35，120.

② 马克思恩格斯全集(47 卷).北京：人民出版社，1979：570，572.

生活中，科学发展的规模是以往的时代根本想象不到的。正是在工业发展的过程中，科学思想、科学方法、科学成果以及它在技术上的应用，跃升为学校教学的重要的、不可或缺的内容。

中国传统的私塾教学的内容自 1840 年鸦片战争后，才有了改变。为了救亡图存，清政府在传统的、以经学为主的教学内容中引进了科学技术的内容；在维新运动中还引进了西方的政治社会学说；到五四运动高举民主与科学的大旗，社会科学与自然科学正式列入学校的课程；与此同时，在教育制度上学习日本、德国、美国。中华人民共和国成立以后我们曾经"一面倒"地向苏联学习。

总的看来，20 世纪盛行于世界范围的教育制度与教育思想、教育内容、教育方法，重点是把西方自然科学研究成果应用于社会经济的发展，和以学校教育为主要手段的发展模式。这反映了工业时代的要求。

早在 19 世纪，马克思恩格斯就从社会发展的前途出发，用辩证唯物主义的观点与方法，批判地总结了工业时代资本主义社会的教育，提出了以下的基本主张：

① 实行教育公平，对所有儿童一律实行义务免费公共教育，以消灭文化或知识的垄断，消灭教育的种种特权。

② 教育必须促进"每个人的全面而自由的发展。"[①]这是一切人的自由发展的条件，因为大机器工业，一方面从技术上消灭了使整个人终生固定从事某种局部操作的工场手工业分工，但是另一方面它的资本主义形式同时又更可怕地再生产了这种分工。

③ 教育要与生产劳动相结合。这是从工厂制度中萌发出来的教学方法，它把生产劳动同智育和体育相结合，不仅是提高社会生产的一种方法，而且是造就全面发展的人的唯一方法[①]。

④ 社会（尤其是它的经济基础）对教育制度、教育思想（经济基础的上层建筑）起决定性作用，反过来，教育是社会发展的关键性的因素，对社会具有长远的影响。

15.1.2　信息时代的教育

20 世纪中叶，以美国为策源地兴起了一场席卷世界的信息技术革命，从工业社会（"以物质为基础的经济"）向 知识社会（"以知识为基础的经济"）转型。知识社会的经济增长方式主要依赖于知识与信息的生产、分配和应用。在知识社会中：创新是经济发展的动力；教育和研究开发是国民经济的先导，是最主要的部门；知识和高素质人才是国家发展中最重要的战略资源。

信息技术革命以排山倒海之势、雷霆万钧之力席卷全球，它的应用扩展到国民经济的一切领域，引起了人类社会生产方式、工作方式、学习方式乃至生活方式重

---

① 马克思恩格斯全集(23 卷). 北京：人民出版社，1972：649.

大的变革。尤其是两大信息技术——“多媒体”与“因特网”，引起了教育领域的深刻变革，使教育体制与教学模式从工业时代向信息时代转型。

目前的主要教育体制（学校教育体制）和教学模式（以教师为中心的班级授课模式）基本上是在三百多年前的工业时代形成的，当时知识的增长较慢，教学手段落后。在信息时代知识爆炸的新形势下，必然对教育提出新的要求，世界各国都在加紧研究“如何尽快培养适应 21 世纪需要的人才”问题。美国已提出“2061 计划”，要打破旧框框，重新组织教材，以多学科培养学生的素质；日本拟花重金研究脑科学，用以改革教育事业，提高国民智力。

信息时代的教育处在两个转型过程之中：一是科学的转型。现代科学技术已经发展成为一个庞大的体系，各门科学技术纵横交叉，相互联系、相互作用，科学从分门别类的研究转向综合的、整体的研究。二是社会的转型。在从工业社会向知识社会转型的过程中，由信息科学技术革命创造出来的、以互联网为标志的、各种先进的信息传播手段，促使人们的学习模式面临一场革命性的变革。因此，研究转型时期的教育思想、教育内容、教育方法是教育改革的重心；研究在社会发展面临重大历史转折的时刻，如何完成教育重心的转移？这是事关提高民族素质，多出人才、出好人才的重大问题，是社会主义现代化建设必须解决的头等大事。

15.1.3 科学整体化时期教育发展的方向与特点

面临科学整体化发展时期的新形势，从 20 世纪 50～60 年代起，国外教育发展的方向，主要是适应科学发展综合化、整体化的需求，把注意力放在科学教育的综合性、整体性上，将课程结构的重点放在培养通才上。70 年代，鉴于科学精神与人文精神的不可分割的联系，又将课程教学的重点从通晓科学知识转向提高科学与文化的素养上；一系列与此有关的课程，如科学技术与社会、科学技术与文化、科学技术与环境等，成为提高科学与文化的素养的主要课程。从 80 年代开始，重点是关注教育（科学文化与人文文化的综合教育）在新世纪社会发展中的地位与价值，研究教育如何应对新的科学技术革命对教育以至整个社会的冲击，并纷纷制订全方位的、面向 21 世纪的教育发展纲要。

正是在科学技术发展的新形势下，1983 年 4 月，美国高质量教育委员会发表题为《国家处在危险之中——教育改革势在必行》的报告，认为其他国家正在赶超美国教育上的成就。在美国高质量高等教育研究小组的一份报告中，对未来教育的发展提出了明确的要求，主要是：在今后的 15 年直到下一个世纪。美国需要培养懂得如何学习的公民，他们能够根据自己的需要去辨别、组织和使用一切学习资源。美国要依靠的是有创造性的、能够综合和重新组织信息的公民，能从各个不同角度分析问题的公民。美国需要能在家庭、社会和国家生活中与人共享其知识和学术能力的人。这实际上就是培养人的全面而自由的发展。

在科学技术整体化时期，教育发展呈现出新的特点：一是信息化。在信息时代，信息与知识急剧膨胀与迅速传播；新的科学理论和技术知识不断在更新；信息与知识的争夺成为国际竞争的制高点，谁握有大量的、先进的知识，谁就能在未来的世纪中占据主导地位。教育必须考虑这一新的形势。二是全球化。现代交通、通信技术的高度发展和经济、科技、文化、教育等交流的扩大，与此相适应，各个国家的联系愈来愈紧密，国际社会开放，已成了当今社会的发展趋势。许多问题如战争与和平问题，地球环境问题、文化的冲突与融合问题，等等，有赖于世界各国的共同努力。教育必须培养从全球化观点出发，研究复杂多变问题的科技人才。三是科学技术是第一生产力。国家的发展，人类社会的前进，都离不开科学技术的应用，离不开科学技术的创新，必须培养成千上万的创新型人才。

总之，科学技术整体化时期的教育与工业时代教育有明显的区别，可以大致概括如表 15-1 所示。

表 15-1

	教育体制	教学功能	教学内容	教学中心	教学手段	教学方法	目标
工业时代	学校教育	传授知识	专业知识	教师为主	课本	注入式	专业人才
科学技术整体化时期	全民教育	知识更新能力	综合知识	学生为主	多媒体	启发式	复合型、创新型人才

15.1.4　中国教育发展的特点

21 世纪世界面临的形势是：政治多极化、经济全球化、文化多样化以及科学技术迅猛发展。教育是一个国家综合国力的重要支撑：从社会发展的角度看，教育是人的社会化的一种活动，它的根本问题是人的现代化；从教育本身的职能看，教育是以开发人的智力、能力和潜能（德、智、体三个方面）为目标的，它的任务是提高全民族的素质。中国改革开放的深入发展，社会经济的快速发展，对教育提出了更高的要求，从总体上来看，中国教育的发展将会有以下几方面的特点：

（1）教育目标

教育目标是国家培养人才的总体规范，它反映社会发展要求。21 世纪的中国教育，将在加强科学知识和职业技能的培养的同时，加强学生的创业教育，思想品质教育，注重效益观念、开拓意识、拼搏精神、国际视野。

（2）教育结构

基础教育对提高国民素质，对引进、吸收和消化国外先进技术，对社会经济文化的发展，起基础作用，是调整教育结构的关键所在。在中国，加强基础教育需要解决“公平”与“效益”的矛盾。并在此基础上筹划教育的规模、速度、结构、形式和

区域布局。教育结构的调整与优化，还必须注意发展中等职业技术教育与高等教育，注意形成各类教育内部及内部与外部协调的动态结构。

（3）终身教育

终身教育的范围包括胎教、幼教、初教、中教、高教、职教、成教、老年教育等各级各类教育，它的提出，是适应社会、经济和科学技术的发展、产业结构的调整和劳动市场的波动等的需要。终身教育的重点，要放在科学教育、职业技术教育，放在信息技术与计算机教育上，以解决社会发展与人口发展的矛盾。

（4）教学内容

现代科学技术革命，加速了社会的转型，主要是：从计划经济向社会主义市场经济转变；从分门别类的科学发展向交叉科学发展的转变；从工业社会向知识社会转变。这就要求从传统教育走向现代创新教育，以适应知识经济时代的要求，21世纪的教学内容，必须从不同层次考虑：高层次人才应该具备四种能力，即观念能力、制度能力、学习能力、创新能力；基层人才应该具有从事劳动的能力和专业的素质。无论哪种层次的人才，都必须具备公民应有的道德素质，要有创新精神和实践能力。

15.2 钱学森对教育问题的深层次思考

15.2.1 科学整体化时期钱学森的教育思想

钱学森十分重视教育事业，他致力创建的“大成智慧学”，是引导人们尽快获得聪明才智与创新能力的学问。创建“大成智慧学”，目的在于使人们面对浩瀚无边的宇宙，面对风云变幻、错综复杂的世界，能够迅速做出满意的决策，形成有效的应对方案，从而在实践活动中有所发现、有所创新。

根据科学整体化时期科学技术发展的新特点、新要求，钱学森从战略的高度指出：在制订教育方针时，一定要革新教育观念、更新教学方法、改革教育内容。在科学技术综合化与社会信息化的时代，特别要吸收思维科学以及教育心理学、脑科学的研究和实验的成果；要缩短学制，充分挖掘和发挥少年儿童的潜力，着重培养青年一代具有高尚的品德和情操、高度的智慧和创新的能力，以迎接未来的挑战。

关于“如何尽快培养适应21世纪需要的人才”的问题。钱学森从当代世界教育发展的战略方向出发，研究与探索“大成智慧学”，殷切期望青年人努力掌握“大成智慧学”，把中国人口大国变成人才大国，为人类作出中华民族应有的贡献。

钱学森总结科学发展的历史，总结自己从事航天科学技术工作的理论研究与实践经验，深刻地指出：创建“大成智慧学”，不但是一门学问，而且是一场伟大的革命。在科学发展的历史上，欧洲14～16世纪的文艺复兴就是科学的伟大复兴，它

把人从封建枷锁和神学桎梏中解放出来。文艺复兴是一场改变历史进程的、伟大的思想解放运动，它使人重新认识了世界，认识了人自身，开辟了科学研究的道路——数学、逻辑与实验相结合，从此自然科学就蓬蓬勃勃地发展起来，为人类的才能和智慧的发挥开辟了广阔的天地和无限发展的前景。在随后的三百多年内，自然科学分门别类的研究，促使它获得巨大的进步。

到20世纪中叶，现代科学技术出现了两股新的发展趋势：一股是一方面科学技术高度分化，另一方面它又高度融合；数学、自然科学技术与经济、社会、军事、地理、建筑以至与文艺、体育等诸多学科，紧密地交汇在一起，互相促进，共同发展，形成了复杂的、多层次的现代科学技术体系，它促使课程设置的重组、教学内容的变动与充实。另一股是：信息科学技术使得知识的创造、存储、学习和使用的方式发生了革命性的变化。多媒体技术、网络通信技术和人工智能技术广泛地应用于教育领域，变革了工业时代以课堂、书本、教师为中心的教学方式，大大推动了教育信息化；特别是知识社会面临的三股浪潮——政治多极化、经济全球化、文化多样化，对教育发展战略的影响。正是科学技术两股新的发展趋势推动下，对教育提出的要求是很高的，也是多方面的。在知识的汪洋大海中，学习、传授、使用与创新知识，无论是教师或学生，其关键在于智慧，因此教育思想的核心问题，是揭开智慧之谜，是如何培养有智慧、有创造性的人才。这是当今世界关注的热点，是一个世界性的难题。钱学森正是抓住这个核心问题，从科学发展、社会发展与人的发展出发，提出大成智慧学的。

15.2.2　大成智慧学是科学整体化时期的创造学

集大成古已有之，古今中外不少学者，如亚里士多德、黑格尔、马克思、孔子、毛泽东等，无不以其集大成而闻名于世。“大成智慧学”，是钱学森在社会转型与科学转向时期中，结合自己在航天工程事业中积累的经验与智慧，创造性地提出的。它是集现代科学技术知识之大成，集中西文化之大成，提出的新型的教育思想、教育内容与教育方法。

大成智慧学的创新性突出地表现在以下方面：

集成的指导思想是马克思主义哲学。它是人类认识世界与改造世界的概括与总结，它不仅是知识，更是智慧，必须在它的指导与启发下，把现代科学技术知识集成起来，才能创新知识，开启智慧之门。

集成的知识是现代科学技术体系以及系统科学技术体系所包含的知识。

集成的方法是从定性到定量的综合集成法，与人机结合、以人为主的方法。

集成的手段是由现代高新技术的集成与融合所构成的计算机体系与知识库。

大成智慧学的中国特色表现在以下方面。

1. 科学与哲学的结合

科学要与马克思主义哲学结合，因为马克思主义哲学既是科学技术的概括，又是建立在它的基础上的。马克思主义哲学在发展过程中并不是孤立于科学技术之外的，而是和它紧密联系、互相促进的。因此钱学森认为，必须在马克思主义哲学指导下，运用系统思想建立现代科学技术体系，把它和马克思主义哲学结合起来。

现代科学技术体系从总体上说，是人对客观世界整体的、定性的认识，是"性智"；从局部上说，是人对客观世界部分的、定量的认识，是"量智"。从哲学的观点看来，人的智慧有两大部分：量智和性智；二者相互联系、相互补充，不可或缺。概括在现代科学技术体系中的十一个部门的知识，都是量智与性智的结合。科学技术知识主要是量智，因为获得科学技术知识的途径，总是从局部到整体，从研究量变到质变，"量"非常重要。但是科学技术知识也重视由量变所引起的质变，要指出事物之间的质的区别，所以科学技术知识也有"性智"。文学艺术主要是性智，因为文学艺术对客观世界认识的途径，主要是从整体感受入手去理解事物，中国古代学者就如此；是从整体，从"质"入手去认识世界的。

大成智慧学告诉我们：在研究与处理复杂多变的问题时，一方面不能像近代自然科学那样，只强调分析，强调定量，走还原论的道路；另一方面也不能只强调综合，强调定性，满足于笼统的、直观的整体认识。

2. 科学与艺术的结合

按照马克思的观点，人们的科学研究过程是①：

具体的事物——整体的表象——抽象的规定——具体的再现

现实世界———形象————概念————理论

因为，人们认识世界一般总是从具体的事物开始，先是在感性认识过程中，通过生动的、直观的形象把握事物的整体；然后从感性认识上升为理性认识，也就是从感性具体上升到思维抽象。在整个科学研究过程中形象思维与逻辑思维都起作用：艺术思维侧重于形象思维，是借助形象认识世界的方式，属于"性智"；科学思维侧重于逻辑思维，它从形象（完整的表象）上升为概念（抽象的规定），是借助概念进行思维的方式。逻辑思维是抽象思维，它抽象出事物的本质，属于"量智"。钱学森现代科学技术体系中的"性智"与"量智"之分，表明在科学研究过程中，在解决问题的过程中，形象思维与抽象思维总是交织在一起、彼此不可分割的。科学技术发展史上许多科学家、技术专家的研究经验表明，对问题的研究往往要经过长时间的艰苦探索，通过逻辑推理、数学演算，仍是百思不得其解的困惑中，由于形象思维的启发

① 马克思恩格斯选集（2卷）. 北京：人民出版社，1977：102～104.

作用，迸发灵感，突然顿悟，新观点、新概念与新方法清晰地呈现在脑际，这就是创新，这就是智慧。

从思维科学的角度看，科学研究与艺术创作是两个不同的过程：科学研究总是先提出问题，在长期的、深入的思考过程中通过形象思维形成猜想，然后对猜想进行科学的论证。在科学研究过程中，形象思维在先，科学论证在后；相反，在艺术创作过程中，必须先对事物进行科学的认识，在此基础上才能进行艺术创作，科学研究在先；艺术形象的形成在后。但是，这两种不同的过程都贯穿着创新，所以，创新是科学与艺术的灵魂。著名科学家李政道有句名言："科学与艺术是一枚硬币的两面。"科学表达自然和世界的原理与规律，艺术表现人类的思想与情感，联结科学与艺术的是其中的创造性。欧洲文艺复兴时期充分展示了科学与艺术的结合，达·芬奇不仅是艺术家，也是科学家，他在绘画艺术方面对光学的完美运用，体现得淋漓尽致。时至今日，蒙娜丽莎那神秘的微笑还在感染着我们，还在困惑着一大批的科学家。在现代，科学与艺术的结合已经成为人类文明进步的两个不可分离的驱动车轮，它们的齐头并进必将大大促进人们思想的解放和创造力的发挥，也必将把中华民族的创造力推到新的高度。

3. 逻辑思维与形象思维的结合

科学与艺术的结合，从思维的角度看，实际上就是逻辑思维与形象思维的结合：逻辑思维主要用于科学研究与实验，所以也称之为科学思维方式；形象思维主要用于艺术创造与艺术活动，所以也称之为艺术思维方式。这两种思维方式是互相区别又互相联系的。

在信息时代，逻辑思维主要是传统形式逻辑和从它发展起来的数理逻辑，它的语言是精确的，推理是严密的，结论是确定的、唯一的。以数学、逻辑与观察、实验为基础建立起来的现代科学技术知识，只要能形式化就能通过计算机和通信网络把它编码、传播和使用。至于还没有进入现代科学技术知识体系的前科学知识，包括经验知识、实践感受以及使用与处理编码化知识的技能，是只可意会、不可言传的知识，不能形式化，不能由计算机来处理，需要由人来处理加工。目前，在科学研究过程中需要用到的形象思维计算机还无能为力。因此，单纯靠计算机处理，没有人的形象思维，是不可能获得大成智慧和创新科学技术知识的。更何况除了形象思维外还有灵感思维，它是科学发现或技术发明时，人们确实遇到的而且是非常需要的，钱学森说，他自己在研究中遇到难题，往往是突然出现的灵感解决了，但是必须明确：灵感思维是以人头脑中沉积的知识为基础、进行长期探索而涌现的，否则灵感思维不能从天而降。

4. 知识创新与创造性人格

知识创新是智慧的最重要的体现。在知识创新过程中需要克服来自两方面的阻力：一方面是问题本身的复杂性带来的阻力，需要研究者具有百折不挠的毅力与坚强的信心。马克思说："在科学上没有平坦的大道，只有不畏劳苦沿着陡峭山路攀登的人，才有希望达到光辉的顶点。"①另一方面是外部环境的压力，需要研究者坚持理想、坚持信念，克服各种各样的困难。关于创造性人才需要的思想、品德、情操，钱学森是杰出的典范。他冲破重重阻力，离开美国回到社会主义祖国；以对祖国、对人民的无限热爱和忠诚，满腔热忱地投身于我国国防事业；他独立地发展了系统工程理论，并把它广泛地应用于军事运筹、农业、林业，乃至整个社会经济各个领域的实践活动。他克服美国的阻难、克服从一无所有中创建我国航天事业的艰辛，是同他的爱国主义、献身科学的精神开不开的；他在我国火箭、导弹和航天工程的研制过程中，对自己要求严肃认真、严谨细致、一丝不苟；对同志提倡民主讨论，各抒己见，集思广益，因而能克服遇到的各种难题。

15.2.3 大成智慧教育培养的人才素质

大成智慧学培养的目标是高素质的人才，他们必须具备如下的素质，以适应新世纪面临的挑战。

（1）科学技术文化素质

现代科学技术是一个庞大的知识体系，由各种科学技术知识、信息、经验、感受等构成的，是知识的大成，是智慧中最重要、最基础的层次。离开了各种科学技术知识、信息以及经验、感受等，也就无所谓集大成。这些知识是人类认识世界与改造世界的成果，它通过计算机与通信网络供人们加工处理、交流、传播和使用。正是这种人机结合的方式，使得人们的思想知识互相激发、碰撞、渗透、综合。在信息与知识的数量上，在交流的时间与空间上，它显然是古代的集大成无法比拟的。科学技术文化素质应该包括使用计算机的技能，人机结合是思维得以活动与发展的前提和基础，是培育大成智慧的土壤。

（2）思想道德素质

人类对客观世界的认识与改造，其成果的取得与人们的理想、信念、意志、毅力、情操等有着不可分割的联系。思想道德素质是由人们的价值观念、需求意识、精神面貌、道德品德、意志、情趣等因素构成的。是智慧发展过程中的动力；在创新问题的选择、创新的途径、创新的效率等方面，起决定性的作用。钱学森认为，"科学就是追求真理。"伟大的科学精神、崇高的品德、高度的爱国热忱、集体主义和严

---

① 马克思恩格斯全集(23卷). 北京：人民出版社，1972：26.

格的组织纪律性，往往是认识世界和改造世界的无限力量。而理、工、文、艺结合起来，既有渊博的学识又使科学精神与人文精神并重，将会使人们迸发出巨大的热情和威力。这是素质教育的核心，也是大成智慧教育的灵魂。

(3) 哲学素质

它是科学技术素质和思想道德素质的整体综合；是辩证唯物主义的世界观、人生观、认识论、方法论，以及现代科学技术体系观、开放复杂巨系统的系统观的有机结合；是创造性人格中最深刻、最复杂、最富于哲理的素质。具备深层次的哲学素质，可以把哲学和科学技术结合起来，把科学与艺术结合起来，把逻辑思维与形象思维结合起来，灵活有效地运用各种科学技术知识与经验，才能集古今中外知识之大成，获得深邃的智慧与创造的灵感，在理论研究中，在实践活动中，有所开拓、有所创新。

15.3　“钱学森之问”与大成智慧教育方式

温家宝总理在 2005 年 7 月 29 日探望钱学森时，钱老记挂着后代的成长，对总理说：“我要补充一个教育问题，培养具有创新能力的人才问题。一个有科学创新能力的人不但要有科学知识，还要有文化艺术修养。没有这些是不行的。”钱老提出：“现在中国没有完全发展起来，一个重要原因是没有一所大学能够按照培养科学技术发明创造人才的模式去办学，没有自己独特的创新的东西，老是‘冒’不出杰出人才。这是很大的问题。”

“钱学森之问”是：“为什么我们的学校总是培养不出杰出人才？”这位科学巨人的发问，是他留给了整个教育界乃至社会各界的一道深刻的、亟待解决的、时代的课题。它不仅是关系到教育科学的创新，自然科学、社会科学与思维科学的创新，更重要的是关系到社会主义现代化建设事业的命运与前途。

钱学森创建的大成智慧学试图回答这个问题，如何遵循他提出的“集大成，得智慧”的教育理念，探索一种新的办学思想和培养人才的新模式，研究适应社会发展的教育教学方法，这需要我们认真学习、领会，进行试验，不断总结经验。

15.3.1　大成智慧学的教育思想

钱学森认为，集大成中的“大成”，就是现代科学技术体系的知识，它是以马克思主义哲学为指导的、人类认识世界与改造世界的知识的概括总结，是系统化了的知识。

至目前为止，现代科学技术体系包括十一个部门，它们是按照研究客观世界的不同问题而划分的；每一个部门又有三个层次(文艺理论除外)即：基础科学、技术科学、工程技术。它们是按照从实践到认识的发展过程来划分的；十一个部门通过

十一座桥梁与马克思主义哲学联系，这表明马克思主义哲学与科学技术之间的相互联系、相互渗透与相互促进，表明马克思主义哲学虽然是人类对客观世界认识的最高概括，但它不是僵化的，而是随着科学技术的发展而发展的。

现代科学技术体系是开放的，随着科学技术的进展，随着新问题的不断出现，这十一个科学技术部门必然要与时俱进发生变化，有些部门会重新整合，还会有新的部门产生，人类的知识体系是随着人类对客观世界的认识、适应和改造而不断扩大与加深的。

钱学森提出的现代科学技术知识体系，体现了科学转向时期"集大成，得智慧"的教育理念，它的核心思想就是适应科学发展从分化向综合转变的需要，打通各行各业各学科的界限，使整个知识体系涉及的各科学技术部门之间相互渗透、学科交融、互补促进、改革创新。体现在高等教育，就是要构建学科交叉、基础宽厚的知识体系和课程结构，培养的人才具有一定的系统集成能力，能够系统、综合地考虑问题、分析问题和解决问题，而不只是考虑局部最优。学科跨度越大，创新程度也越大。"大成智慧学"强调以马克思主义的辩证唯物论为指导，在传统的教学模式中加入现代技术，充分利用计算机、信息技术、互联网技术，以人为本，人机结合，可以迅速有效地集古今中外有关信息、知识、智慧之大成，系统设计，团队协作，科学而创造性地去解决各种复杂性问题。这是大成智慧教育方式的一个显著特点，这种教学方式可以产生1+1>2的教学效果，对实现马克思恩格斯的思想：把人从分工的束缚下解放出来，为人的自由而全面的发展创造条件。

15.3.2 大成智慧学的教育观

钱学森提出培养人才就是培养人的素质。只有素质教育才能适应科学转向时期的需要；只有素质教育才是培养人全面发展的有效途径和方法。素质是综合的、整体的素质，它包括：

① 科学素质与艺术素质。"科学家应该学点艺术，艺术家也应该学点科学"。

② 理、工、文的知识素养。培养的人才"不但要理工结合，要理工加社会科学"，在社会转向与科学转向时期，只用专业知识教育人是不够的。

③ 思想道德品质。培养出来的人必须有社会责任感，"必须获得对美和道德上的'善'有鲜明的辨别能力"，否则就不是一个和谐发展的人。

从大成智慧学的教育思想与素质教育来看，素质教育的知识结构应该包括三个组成部分：

① 基础知识与专业知识。这部分知识应该是专与博的相互补充、专精与广博的统一。至于二者的关系，钱学森认为，这是"博的基础上的专，和专的引导下的博，博与专要相互配合"。大学本科四年，时间是有限的，而知识是无限的。如何解决专与博的矛盾？首先要解决"博"的最根本的基础是什么。钱学森认为，"博"的

最根本的基础应该是现代科学技术知识的基础理论。马克思说过:“自然科学是一切知识的基础。”[①]物理学是“自然科学的最重要的部分。”[②]而数学是科学的语言。因此掌握了数学、逻辑学、物理学,就能起到触类旁通、继续拓展的作用。

② 教学方法与学习方法的知识。这部分知识要解决的问题是:如何通过教学过程发掘学生潜质、培养学生的能力?这就需要研究教学方法,特别是要充分利用以信息技术为基础的教学技术,如多媒体教学、网络教学、远程教学等教学手段。还要制订学习方法、考核方法和教学效果评价,设计教学环节和教学方案等,使学生能够主动、积极地学习。

③ 待人接物的知识。每个人是社会的一员,负有社会责任,因此首先要教导学生学会做人;教师为人师表,教书育人将体现在整个教育教学过程中。德育教育的内容主要包括:民族精神教育、理想信念教育、道德品质与文明行为教育、遵纪守法教育、心理健康教育等。除此之外,还要随着经济、政治形势发展进行形势任务和时事政策教育。同时充分利用学校拥有的资源,开展一些有利于学生身心健康的教学活动和社团活动,培养学生的综合能力。

钱学森进一步指出,要实现培养高素质人才的目标,加强科学与艺术相结合是必要的。他本人成才的经验表明,科学和艺术两者是相互促动,协调发展的。钱学森回顾自己成长的道路时说过一段发人深省的话:“小时候,我父亲让我学理科,同时又送我去学绘画和音乐。我觉得艺术上的修养对我后来的科学工作很重要,它开拓了科学创新思维”。后来,钱学森与从事德国古典音乐专业的妻子蒋英教授结合,妻子的艺术思维方式、对音乐的深刻理解,给他在科学技术研究上很大的启迪和帮助。

15.3.3　大成智慧学的教育培养方案

1. 大成智慧的学制

钱学森根据自己以及其他人的学校教育的经验,认为现在的学制时间太长:小学 6 年,中学 6 年,大学 4 年,硕士 3 年,如果再加上博士 3 年,一共 22 年,几乎占了人一生的三分之一的时间。必须提高教学质量,缩短学制,挖掘人的潜力。为此他关于学制的设想是:

初级教育 8 年,4 岁到 12 岁;

中高级教育 5 年,12 岁到 17 岁。最后一年写出毕业论文,授予大成智慧硕士。

---

① 马克思恩格斯全集(47 卷).北京:人民出版社,1979:572.

② 马克思恩格斯选集(2 卷).北京:人民出版社,1965:163.

钱学森还设计了符合21世纪要求的"大成智慧学硕士"应该是通才，他必须具备如下的条件：

① 熟悉现代科学技术体系，这是博的基础。

② 理、工、文、艺结合，这是"得智慧"的条件。

③ 熟悉信息网络，善于用电子计算机处理知识，这是"集大成"必须具备的技能。

受过大成智慧教育的人，在复杂多变的环境中，能够根据需要选择深造和综合发展的方向。在通才的基础上，他大约只需要一个星期的学习和锻炼就可以从一个专业转入另一个不同的专业。这是博与专的辩证统一。

2. 大成智慧的培养方案

培养方案要体现现代科学技术体系结构的整体性，具体地说，就是要在课程结构与知识体系上体现学科交叉与基础宽厚；在教学中要加强基础理论，重视实践。把培养目标放在以下这几个方面，即：注重培养学生理论分析和逻辑思维能力；注重培养学生应用现代技术辅助学习能力；注重培养对知识进行系统集成的能力；注重培养学生实践能力和创新能力；注重培养学生守诚信和团队精神。培养这种具备知识复合、能力复合、思维复合等多方面能力的复合型人才，才能适应我国社会、经济和文化发展的需要；才能在现代化建设中，在各行各业起引领作用。培养这种基础理论扎实、科学知识丰富、治学方法严谨，勇于探索未知领域的创新型人才，是建设创新型国家的需要，是有效提升我国人才和人力资源综合开发水平，形成人才辈出、人尽其才的新局面的需要。

3. 大成智慧的课程体系

我国从1998年拓宽专业口径、调整专业设置以来，教学体系课程设置已经大大拓宽，在一定程度上体现了交叉科学发展的趋势。但是从总体上看，还没有摆脱以专业培养为主设置的课程体系。按照钱学森创建的现代科学技术体系体系结构，在设计科学体系时，考虑如下：横向的基础知识方面，以数学科学、自然科学、系统科学为主，这几门科学是学习现代科学技术的基础；纵向的认识层次方面，按基础科学、技术科学和工程科学三个层次构建体系框架，这是现代科学技术的认识过程。

课程教学按照纵向的认识层次要遵循以下原则：

① 基础科学理论要扎实，体现在理论分析和逻辑思维的能力上。

② 技术科学交叉要宽广，以便为系统地综合处理问题开拓思路，打下坚实基础。

③ 工程科学要高新，实现"博的基础上的专"。

④ 教育方式综合化、多样化，要求养成良好品格，培养兴趣爱好，拓展知识空间，积极探索创新。

从科学技术体系的整体考虑，课程设置在于课程体系要反映现代科学技术综合化的发展方向，不在于课程学时的多少；课程内容要反映现代科学技术不断创新的要求，不要贪多求全；课程考核主要在于考核反映能力。因此，降低学时，改进教学与考核方法，改进学习方式等是开办大成智慧学实验班最重要的目的之一。大成智慧学实验班要设立专项经费，以立项的形式支持教师进行教改，每学期立项，一年结题，学生参与项目验收。

4. 大成智慧的教学方法

人脑与电脑相比，各有所长，二者要互相补充，促进知识的增长与创新。教育信息化就是在教学过程中充分利用现代信息技术，在课堂教学、学生作业、课堂研讨、课外实践等教学环节中，充分利用计算机、网络、各类软件的作用，变单一渠道为多种途径传授知识和获取知识，提高教学质量与学习效率。

如大学物理课程，通过远程教育，可以直接听到名师讲授，可以将传统教学与数字教学相结合；在实验物理中让学生自己编程，用计算机技术实现用手工无法解决的一些物理问题，不仅可以直观地看到物理现象和过程，而且举一反三，甚至可以实现学生提出的猜想。

如工程制图课程，要求学生应用计算机完成综合作业：根据装配图了解机构的作用；根据工程的需求和功能，设计机构装配图。学生以小组为单位自选完成上述二者中的一个任务，提交作业成果，写出研究报告，并制作 PPT 参加课程答辩。这种新方法能提高学生思维能力、应用计算机技术的能力、团队精神，是传统的教学方法无法相比的。

5. 大成智慧的人文素质教育

20 世纪 50 年代末斯诺在《两种文化》中提出一个引起学术界关注的重大问题：现代文化已经分裂成为相互对立的科学文化和人文文化，这种分裂将会给人类带来灾难性的后果。这就是脍炙人口的“斯诺命题”，它反映的是伴随科学技术进步带来的高度物质繁荣给人文学者带来的忧虑——科学技术缺乏人文关怀造成的“物质生活与精神生活”之间的冲突，将会给人类带来灾难性的后果。加强人文素质教育，就是在两种文化分裂的形势下对教育提出的要求；必须克服科学教育与人文教育之间的鸿沟，大力促进两种教育的融合，使社会与人的发展更加和谐有序。

钱学森在 20 世纪的 70 年代末至 90 年代，对整个 20 世纪的主流文化思潮作了认真的反思与重新审视，花了近 20 年时间，开创了以认识论——思维科学为基础的大成智慧学，并形成了大成智慧学的教育理念。钱学森在他创建的现代科学

技术体系中，提出“科学与哲学的结合”（桥梁），“科学与艺术的结合”（性智与量智），以及各门科学技术之间的相互联系与相互渗透，充分反映了他在现代科学技术迅猛发展的形势下，提出的大成智慧教育的核心理念，就是加强人文素质教育，拓宽人们的视野，使人与自然、人与社会、人与人和谐发展。从他的演讲、报告与文章中可以看出，下列课程是培养人文素质的必修课程：“中国传统文化”、“哲学经典著作导读”、“中外文学名著选读”、“社会学理论与方法”、“艺术思维与方法”和“艺术欣赏与创作”等课程。其中的“艺术思维与方法”课程是由音乐、陶艺、建筑、书法、艺术设计等学科的教师组成的教学组承担，从介绍这些门类的表观入手，启迪学生建立与工科严密逻辑思维不同的思维方式和学习方法。课程结束后，学生可以任选两个方向进行“艺术欣赏与创作”活动。

6. 大成智慧的考核方式

采取综合性实验、大作业、小型课题等多种形式考核学生平时学习成绩，严格平时考核纪律，加大平时考核成绩比例，使学生在整个学习过程中始终保持旺盛的学习积极性和自主学习的兴趣。特别是考核课堂讲授的内容要加上考核课外学习的内容，通过这种考核方式引导学生查阅资料，拓展知识，避免死记硬背，锻炼和培养学生自学的能力。

参 考 文 献

邓小平文选(3卷).北京:人民出版社,1993.
马克思恩格斯全集(23卷).北京:人民出版社,1972.
马克思恩格斯全集(47卷).北京:人民出版社,1979.
马克思恩格斯选集(2卷).北京:人民出版社,1965.
马克思恩格斯选集(2卷).北京:人民出版社,1977.

(N-0421.0101)

钱学森科学技术思想研究丛书

马克思主义哲学与现代科学技术体系

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-029776-1



定 价：60.00元

工程技术分社
电话：010-64033541
E-mail: yuding@mail.sciencep.com